

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Радіотехнічний факультету

Кафедра радіоприймання та оброблення сигналів

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Андрій МОВЧАНЮК

«__» _____ 20__ р.

Дипломна робота

**на здобуття ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою
«Радіозв'язок і оброблення сигналів»**

спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**на тему: «Система пеленгації і блокування каналів зв'язку з
безпілотними апаратами»**

Виконав:

студент IV курсу, групи РА-61-1

Демченко Іван Вольдемарович _____

Керівник:

Доцент кафедри РОС, к.т.н., доцент,

Мосійчук Віталій Сергійович _____

Консультант з розділу «Охорона праці»:

к.т.н., доцент Гусєв Аркадій Миколайович _____

Рецензент:

Доцент кафедри РТПС, к.т.н., доцент,

Чмельов Вячеслав Орійович _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультету
Кафедра радіоприймання та оброблення сигналів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Радіозв'язок і оброблення сигналів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Андрій МОВЧАНЮК

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Демченку Івану Вольдемаровичу

1. Тема роботи «Система пеленгації і блокування каналів зв'язку з безпілотними апаратами», керівник роботи Мосійчук Віталій Сергійович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «___» _____ 2020 р. № _____

2. Термін подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи

4. Зміст роботи

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Гусєв Аркадій Миколайович		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	Аналіз аналіз інцидентів, видів БПЛА, їх системи зв'язку	13.04 – 15.04	
	Аналіз засобів протидії	16.04	
	Аналіз засобів пеленгації	17.04 – 18.04	
	Аналіз методів пеленгації	20.04 – 23.04	
	Формування вимог до технічних характеристик	24.04 – 25.04	
	Загальний контсруктив	27.04 – 28.04	
	Антенний блок	29.04 – 5.05	
	Розробка та виготовлення комутатора	06.06 – 13.06	
	Вимірювання, аналіз, висновки.	14.05 – 17.05	

Студент

Іван ДЕМЧЕНКО

Керівник

Віталій МОЙЧУК

РЕФЕРАТ

Дипломна робота на здобуття ступеня бакалавр за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (спеціалізація «Радіозв'язок та оброблення сигналів») — Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2020, Київ.

Дипломна робота складається з 60 сторінок, 39 рисунків та 20 джерел посилань.

Метою роботи є дослідження методів та реалізації засобів виявлення та блокування каналів зв'язку з безпілотними літальними апаратами.

Об'єктом дослідження є процеси виявлення та блокування каналів керування та передачі даних з безпілотних літальних апаратів.

Предметом дослідження є система пеленгації радіоелектронних засобів, що забезпечують зв'язок з безпілотними літальними апаратами.

Ключові слова: *БПЛА, пеленгація, пеленгатор, локалізація не авторизованих джерел радіовипромінювання, алгоритм Уотсона-Вата, амплітудний метод пеленгації.*

Зміст

ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БПЛА, СИСТЕМ ЇХ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПЕЛЕНГУВАННЯ	10
1.1 Класифікація безпілотних апаратів.....	12
1.2 Інформаційні канали керування	13
1.3 Методи протидії БПЛА	25
1.4 Огляд систем пеленгації.....	26
1.5 Висновки до розділу 1	30
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПЕЛЕНГАЦІЇ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ.....	31
2.1 Основи пеленгації	31
2.2 Обґрунтування вимог та технічних характеристик для системи пеленгації.	35
2.3 Структурна та функціональна схеми системи пеленгації	35
2.4 Висновки до розділу 2	36
РОЗДІЛ 3. Реалізація системи пеленгації каналів керування БПЛА ..	37
3.1 Загальна конструктив	37
3.2 Конструкція антенного блоку.....	37
3.3 Логоперіодичні антени.....	38
3.4 Блок комутації антен	41
3.5 Висновки до розділу 3	53
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	54
4.1 Встановлення потенційно небезпечних чинників	54
5.2 Освітлення робочої зони	55
5.3 Мікроклімат	55

5.4 Електробезпека.....	56
5.5 Електромагнітне випромінювання	56
5.6 Пожежна безпека	56
5.7 Безпека в надзвичайних ситуаціях	57
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	59

ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

SDR - (англ. Software-defined radio) радіосистема, в якій обробка сигналів виконується цифровими методами.

АЦП - аналогово-цифровий перетворювач

БПЛА - безпілотний літальний апарат

ВЧ - високої частоти

ГКЧ - генератор коливаючоїся частоти

ДС - Діаграма спрямованості

МК - мікроконтролер

МШП - малошумлячий підсилювач

РЛС - радіолокаційна система

ПЗ - програмне забезпечення

ПЛІС - Програмована логічна інтегральна схема (PLD, CPLD, FPGA)

АЧХ – амплітудно частотні характеристики

ВСТУП

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) на сьогоднішній день за рахунок низької вартості та часу автономної роботи стали доволі розповсюдженими як у побуті, так і у різних сферах діяльності людини. Внаслідок цього виникає загроза нанесення БПЛА як навмисної, так і ненавмисної фізичної шкоди. Також слід зазначити, що притаманні БПЛА переваги, такі як незначна вартість, різноманітність можливого функціоналу, швидкість підготовки до запуску, економічність, простота експлуатації, та важкість контролю призводять до безкарності та масовості протиправних дій. Переважна більшість БПЛА виготовляються з композитних матеріалів і тому мають малу площу ефективного розсіювання в радіочастотному діапазоні, тому вони погано виявляються засобами радіолокації. Двигуни не нагріваються до високих температур і тому є малоконтрасними для тепловізійних засобів спостереження.

У всіх випадках для прийняття заходів протидії БПЛА необхідно знаходити місцеположення як дронів, так і засобів керування ними.

Метою роботи є дослідження методів та реалізації засобів виявлення та блокування каналів зв'язку з безпілотними літальними апаратами.

Для досягнення цієї мети поставлені такі **задачі**:

- Проаналізувати доступні на ринку засоби радіокерування;
- Провести аналіз робочих діапазонів та видів модуляції каналів зв'язку з БПЛА;
- Дослідити існуючі на ринку засоби пеленгації;
- Провести аналіз методів пеленгації;
- Розробити окремі блоки системи пеленгації;
- Розглянути питання охорони праці.

Об'єктом дослідження є процеси виявлення та блокування каналів керування та передачі даних з безпілотних літальних апаратів.

Предметом дослідження є система пеленгації радіоелектронних засобів, що забезпечують зв'язок з безпілотними літальними апаратами.

Методи дослідження. Аналітичний пошук та аналіз літературних джерел, дослідження існуючих рішень, аналіз окремих вузлів.

Практичне значення. Підвищення безпеки вразливих об'єктів за допомогою використання систем пеленгації.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БПЛА, СИСТЕМ ЇХ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПЕЛЕНГУВАННЯ

Низька вартість та доступність технології реалізації керування безпілотними літальними апаратами призвело до їх широкого поширення. Неконтрольоване їх вживання несе загрозу для ряду об'єктів критичної інфраструктури, а також можуть бути використані зловмисниками для задіяння шкоди та вчинення диверсій.

За допомогою БПЛА виконують аерофотозйомку для різних цілей, таких як технічний стан будівель, стан сільськогосподарських угідь, худоби, ґрунту, стан лісів та виявлення пожеж. Останні роки є спроби впровадити в комерційну експлуатацію служби доставки вантажів за допомогою БПЛА. Найбільш вдалим впровадженням стала доставка ліків та медичного обладнання. В Руанді (Африка) працює система доставки ліків понад 20 об'єктів [1], в Неваді компанія REMSA Health разом зі стартапом Flirtey організували доставку дефібриляторів дронами [2]. БПЛА також набули широкого застосування в військовій справі, розвідка, цілевказання, постановка завад, атакуючі дрони тощо.

В той же час доступність і розвиток БПЛА значно розширило можливості злочинців та терористів. Великою проблемою виявилася доставка наркотиків та заборонених предметів у місцях тримання під вартою [3, 4]. Проблемою є польоти дронів а територіях державного значення таких як військові бази, АЕС, небезпечні підприємства хімічної та інших галузей. В Японії на даху резиденції прем'єр міністра виявлено БПЛА з пляшко радіоактивних відходів, ймовірно його туди запустили екологічні активісти [5].

Гостро стоїть проблема аеропортів та авіації. Один з перших інцидентів в комерційній авіації, це зіткнення БПЛА з літаком у жовтні 2007 р. в Канаді [6]. Літак отримав пошкодження, але успішно приземлився. За даними

Федерального авіаційного управління в США щомісячно реєструється понад 100 повідомлень пілотів про небезпечні наближення [7]. В багатьох випадках аеропорти зачиняли через наявність поблизу дронів, що призводило до збитків та незручностей.

Дослідники з Університету Дейтона провели дослід наскільки небезпечним може бути дрон масою 1 кг для літака, і прийшли до висновку, що наслідки можуть бути дуже серйозними. У разі більшої маси дрона він буде ще більш небезпечнішим [6]. Також слід зазначити, що в цих дослідках не розглядалась небезпека пожежі внаслідок загоряння літєвого акумулятора.

Пошкодження, що були викликані внаслідок зіткнення БПЛА Phantom 4 з передньою кромкою крила легкого літака наведені на рис 1 [8]. Такі пошкодження призводять як мінімум до дороговартісного ремонту.



Рис. 1.1 – Пошкодження крила літака у разі зіткнення з дроном

Тому для виявлення доцільно використовувати пеленгацію, так більшість БПЛА це невеликі квадрокоптери, які використовують ентузіасти, спортсмени, діти та фотографи з радіоелектронним обладнанням радіозв'язку та радіокерування, передавання відео тощо.

1.1 Класифікація безпілотних апаратів

- серійні для зйомки
- серійні для візуальних польотів
- дитячі та кімнатні
- зібрані з компонентів
- спеціальні, військові

1.1.1 Серійні БПЛА для поверхневої зйомки

Серійні БПЛА для зйомки призначені для польотів на відкритому просторі мають обмеження по закритим зонам, прикладом таких може бути продукція SZ DJI Technology Co., Ltd.

Такі БПЛА як правило мають велику кількість датчиків для стабілізації та визначення положення. Але за рахунок цього їхня максимальна швидкість не дуже велика і становить 60-65 км/год.

1.1.2 Серійні дрони для візуальних польотів

Дрони для візуальних польотів часто мають мінімальний набір датчиків, гіроскоп та акселерометр, відсутність стабілізації забезпечує низьку затримку в керуванні. Такі дрони, як правило, мають високі динамічні характеристики, швидкість може сягати 300 та більше кілометрів на годину, але такі характеристики забезпечуються за рахунок того, що запасів енергії в акумуляторі вистачає на 5-6 хв. польоту.

1.1.3 Іграшкові та кімнатні БПЛА

Дитячі та кімнатні дрони мають малу масу та динамічні характеристики, канал керування працює на відстані не більше 100 м. Більшість з них не спроможні літати при легкому вітрі і тому не створюють загроз.

1.1.4 Дрони-конструктори

До цього класу БПЛА належать дрони, що зібрані з наборів в межах власних проектів з окремих компонентів та з відкритим або самописним програмним забезпеченням.

Можуть мати будь-які характеристики, але для більшості це визначається доступними на ринку компонентами та тим, що можливо виготовити самостійно або на замовлення.

1.1.5 Безпілотні апарати спеціального призначення

До спеціальних відносять як серійні так і спеціально розроблені БПЛА. Як приклад можна навести адаптовані виробником серійні моделі для рятувальників. Наприклад, для парижських пожежних компанія DJI знімала обмеження на польоти в закритих зонах.

Військові БПЛА у цій роботі не розглядаються, внаслідок їх малої доступності. Атакуючі БПЛА можуть навіть мати елементи радіопротидії засобам протиповітряної оборони та радіоелектронної боротьби.

1.2 Інформаційні канали керування

1.2.1 Обладнання радіокерування

Розглянемо деяке обладнання радіокерування, яке користується популярністю.

Пульт керування Flysky FS-i6

Старий еле ще досить популярний пульт керування Рис. 1.2.



Рис. 1.2 – Flysky FS-i6

Channels	6 Channels
Model Type	Glider/Heli/Airplane
RF Range	2.40-2.48GHz
Bandwidth	500KHz
Band	142
RF Power	Less Than 20dBm
2.4 GHz System	AFHDS 2A and AFHDS
Code Type	GFSK
Transmitter Weight	392g
Transmitter Size	174x89x190mm
Вартість	50 \$

Приймач FS-iA6B

Приймач FS-iA6B Рис. 1.3 підходить до Flysky FS-i6, більшість модифікацій застаріли, бо не підтримують сучасні контролери.



Рис. 1.3 – Модуль приймача FS-iA6B

Channels	6
Frequency Range	2.4-2 .48 GHz
Number of Band	140
Transmitting Power:	not more than 20dBm
Receiver Sensitivity	-105dBm
2.4G modes	Automatic frequency second generation digital systems
Encoding	GFSK
Weight	6.4g
Dimensions	40.4 x 21.1 x 7.35 mm
Вартість	10\$

Цей комплект, має помірну вартість та непогані характеристики, дальність дії залежить від характеристик приймача.

Пульт керування FrSky Taranis X9D Plus

Пульт керування рис. 1.4 існує багато модифікацій, підтримує модули передавачів на інші діапазони.



Рис. 1.4 – FrSky Taranis X9D Plus

Dimension	200*194*110mm (L*W*H)
Weight	670g (without battery)
Operating system	OpenTX
Number of channels	24 channels
Internal RF module	ISRM-S-X9
Вартість	300\$

Приймач FrSky R-XSR Ultra

Приймач нового покоління FrSky R-XSR Ultra Рис., габарити значно зменшилися, виросла чутливість.



Рис. 1.5 – Приймач FrSky R-XSR Ultra

Dimension	16*11*5.4mm (L*W*H)
Weight	1.5g
Number of channels	16CH (1-16CH from SBUS channel, 1~8CH from CPPM channel)
	CompatibilityFrSky X Series modules and radios in D16 mode
вартість	25\$

Обладнання FrSky одне із самих популярних, хоча воно не саме дешеве. Йому властиві непогані характеристики, можливість модифікації та ремонтпридатність. За рахунок модульності можна використовувати не лише діапазон 2.4ГГц, а й інші.

Pair RF900 Mini

Комплект телеметричних модемів RF900Mini Рис. 1.6, кожна використовувати не лише для телеметрії, а й керування, їх частіше застосовують для керування з комп'ютера. Працює в діапазоні 915МГц, виробник заявляє 10 км. дальність дії.



Рис. 1.6 – Комплект телеметричних модемів RF900Mini

Size	19.0 mm (wide) x 30.4 mm (long) x 4.5 mm (thick)
Weight	2.7g
Frequency Range	902 - 928 MHz (USA)
Output	Power100mW (+20dBm), controllable in 3dB steps
High Gain	>24dB
Long Distance	>10km
Receive Sensitivity:	<-111dBm at 9.6kbps, <-107 dBm at 64kbps, <-105dBm at 129kbps (air serial speed)
вартість	137\$

Модуль для пульту керування та приймач WolfBox

Модуль для пульту керування та приймач рис. 1.7 такий модуль можна встановити до вищерозглянутого Taranis X9D Plus.



Рис. 1.7 – Модуль для пульту керування та приймач

Модуль передавача

Channel	Default 8CH, Max. 16CH(Users can customize)
Frequency	416-463MHz
Transmission Power	1W
Compatible with	Frsky X9D,X12S,9XR,9XR PRO,Flysky 9,JR 9XII etc. JR Module

Приймач **WOLFBOX LONG RANGE UHFRX**

Channel	Default 1-8CH+RSSI, Max. 16CH(Users can customize)
Frequency	416-463MHz

Transmission Power	100mW
Configuration	Adjust parameter by wireless transmission

вартість комплекту 78\$

Відеопередавач Eachine TX805

Відеопередавач Eachine TX805 Рис. 1.8 частотний діапазон - 5.8G, каналів - - 40CH, вихідна потужність може приймати значення 25/200/600/800mW

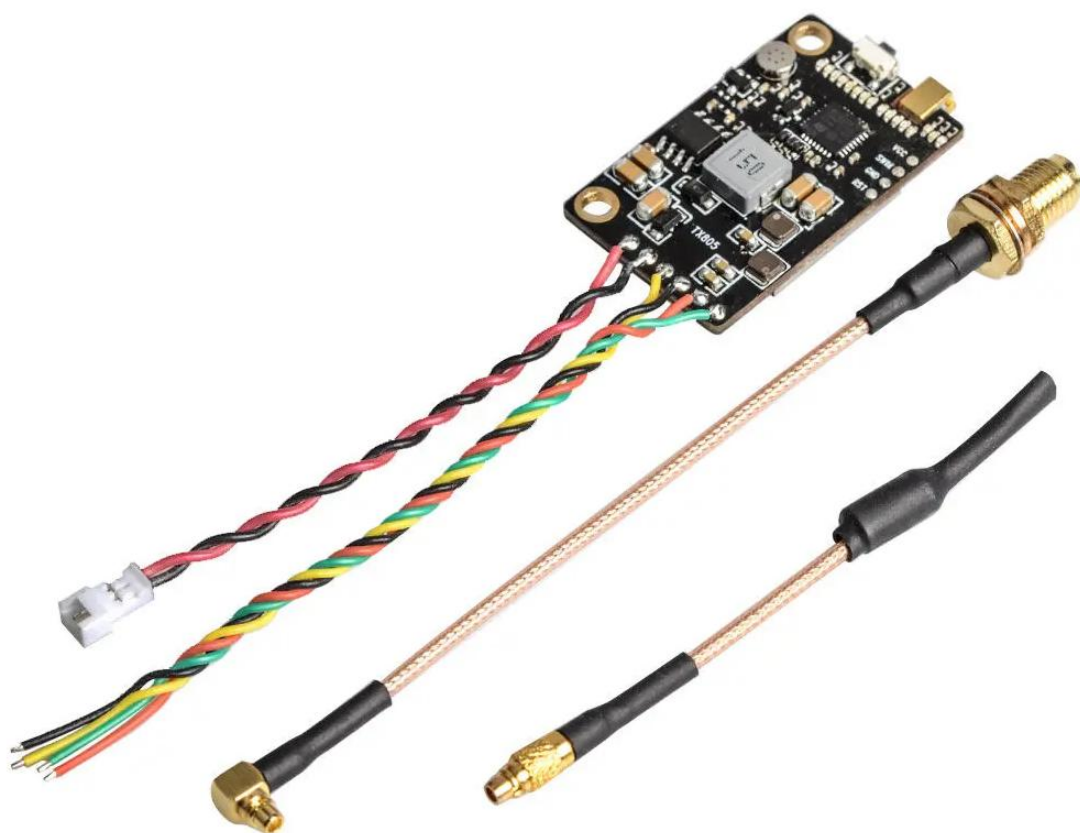


Рис. 1.8 – Відеопередавач Eachine TX805 5.8G 40CH max 800mW

Frequency	5.8G
Channels	40CH
Extra features	Smart audio
Output power	25mW/200mW/600mW/800mW switchable

Dimensions	36mm*22mm*5mm,30.5 stackable hole
Weight	8g(excluding antenna)
Вартість	25\$

Типовий передавач відеосигналу, зустрічаються моделі з вихідною потужністю понад 1.5ватта.

Відеопередавач MATEK Systems VTX-1G3-9

Відеопередавач MATEK VTX-1G3-9 рис. 1.9. Робчий діапазон 1.2Ghz
1.3Ghz, кількість каналів 9CH.



Рис. 1.9 – Відеопередавач MATEK VTX-1G3-9 1.2Ghz 1.3Ghz

9CH_INTL version	(1080MHz to 1360MHz)
RF power output	28dBm (630mW)
Video format	NTSC or PAL
Audio Subcarrier	6.5 MHz & 6.0MHz
Weight	9g (w/o antenna)
Size	board 36*21.5mm
Вартість	60\$

Phantom 4 Pro

Частина параметрів стосовно радіоінтерфейсу.

Operating Frequency 2.400 - 2.483 GHz and 5.725 - 5.825 GHz

Max Transmission Distance 2.400- 2.483 GHz (Unobstructed, free of interference)	FCC: 4.3 mi (7 km) CE: 2.2 mi (3.5 km) SRRC: 2.5 mi (4 km)
Max Transmission Distance 5.725 - 5.825 GHz (Unobstructed, free of interference)	FCC: 4.3 mi (7 km) CE: 1.2 mi (2 km) SRRC: 3.1 mi (5 km)
Transmitter Power (EIRP) 2.400 - 2.483 GHz	FCC: 26 dBm CE: 17 dBm SRRC: 20 dBm MIC: 17 dBm
Transmitter Power (EIRP) 5.725 - 5.825 GHz	FCC: 28 dBm CE: 14 dBm SRRC: 20 dBm

З приведенного вище аналізу добре видно, що в різних частинах світу існують різні обмеження на максимальну вихідну потужність.

1.2.2 Найпопередніші частотні діапазони для керування БПЛА

Як можна бачити на прикладі розглянутого обладнання найбільш розповсюджена апаратура радіокерування працює в діапазоні 2.4ГГц.

Спектр сигналів обладнання радіокерування Flysky Рис. 1.10, як видно зі спектру знятого в режимі накопичення, апаратура працює в режимі псевдовипадкової зміни частоти.

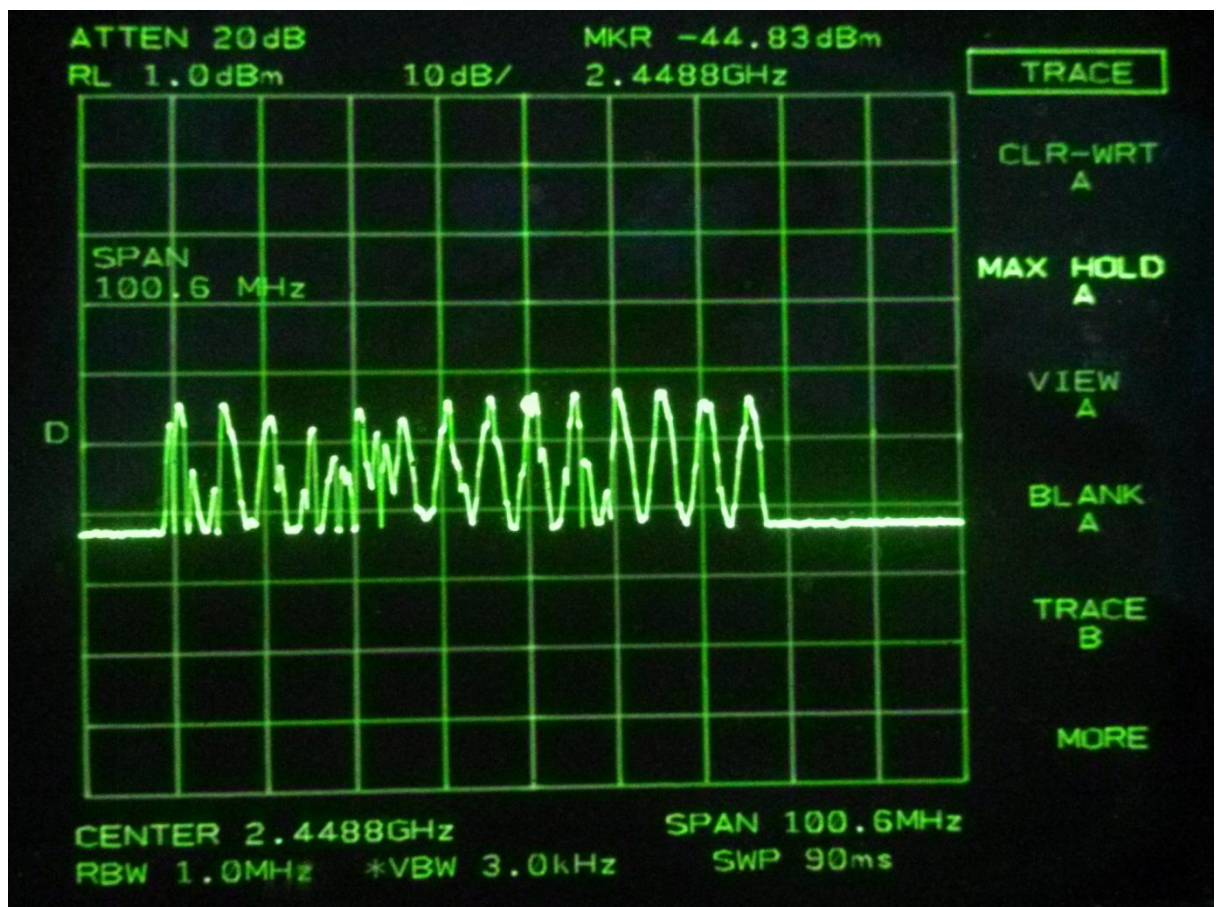


Рис. 1.10 – Спектр сигналів радіо керування в режимі накопичення

Також зустрічається обладнання радіокерування на діапазони 902 – 928 МГц та 416-463 МГц. Діапазон 430 МГц в містах дуже зашумлений системами охорони автомобілів.

Найпоширеніші передавачі відеосигналу працюють в діапазоні 5658 МГц до 5945 МГц. Мають спектр сигналу у вигляді як показано на рис. 1.10. З рисунку видно, що ширина спектра не перевищує 8 МГц.

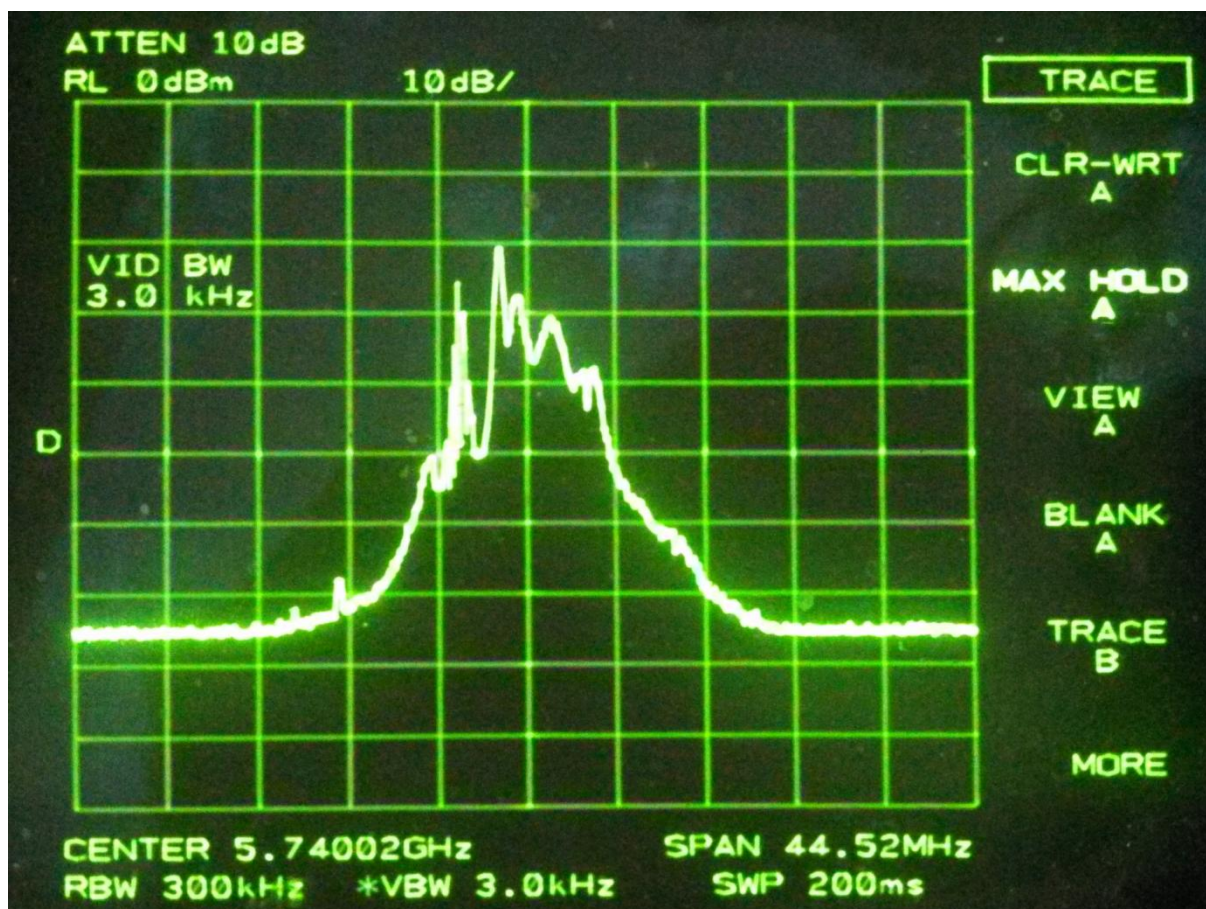


Рис. 1.10 – Спектр сигналу відеопередавача в режимі накопичення

Більш дорогими та менш поширеними є засоби передачі даних, що працюють в смузі від 1080 МГц до 1360 МГц

Також зустрічається обладнання радіокерування на діапазони 902 – 928 МГц та 416-463 МГц.

1.2.3 Види сигналів

В обладнанні радіокерування часто застосовують частотну маніпуляцію (FSK) або частотну маніпуляцію з Гаусівським фільтром (GFSK), використання фільтру покращує спектральні характеристики. Протокол вищого рівня як правило пропрієтарний.

Відеосигнал класичний, аналоговий з амплітудною модуляцією, система кодування кольорів NTSC або PAL, звук в піднесучій з частотною модуляцією.

Також для зв'язку використовують wi-fi. Як в якості каналу керування так і для передачі відеосигналу.

1.3 Методи протидії БПЛА

Постановка завдань на канали зв'язку:

- грубою силою - псує SNR
- з втручанням в протокол передачі

Фізичний вплив на БПЛА, такий як:

- зенітне озброєння, ракети та кулі, це дорого і небезпечно;
- потужний лазер, доволі ефективно, але дуже дорого;
- перехоплення іншим БПЛА з сіткою.

Вплив на оператора дрона, але для цього його потрібно виявити.

Для ефективної протидії безпілотними апаратами (дронам) у всіх випадках необхідно знати координати, як мінімум дрона.

Дізнатися їх найпростіше виявивши канали зв'язку, найчастіше - це радіозв'язок. І це дозволяє використовувати радіопеленгацію.

1.4 Огляд систем пеленгації

Rohde & Schwarz DDF1555

Компактний пеленгатор для використання поза приміщеннями Рис. 1.11.



Рис. 1.11 – Зовнішній вигляд R&S DDF1555

Робочий діапазон 20МГц - 6ГГц. Прилад не має власного інтерфейсу і використовується в комплекті з комп'ютером або планшетом, вигляд інтерфесу на компютері рис. 1.12.

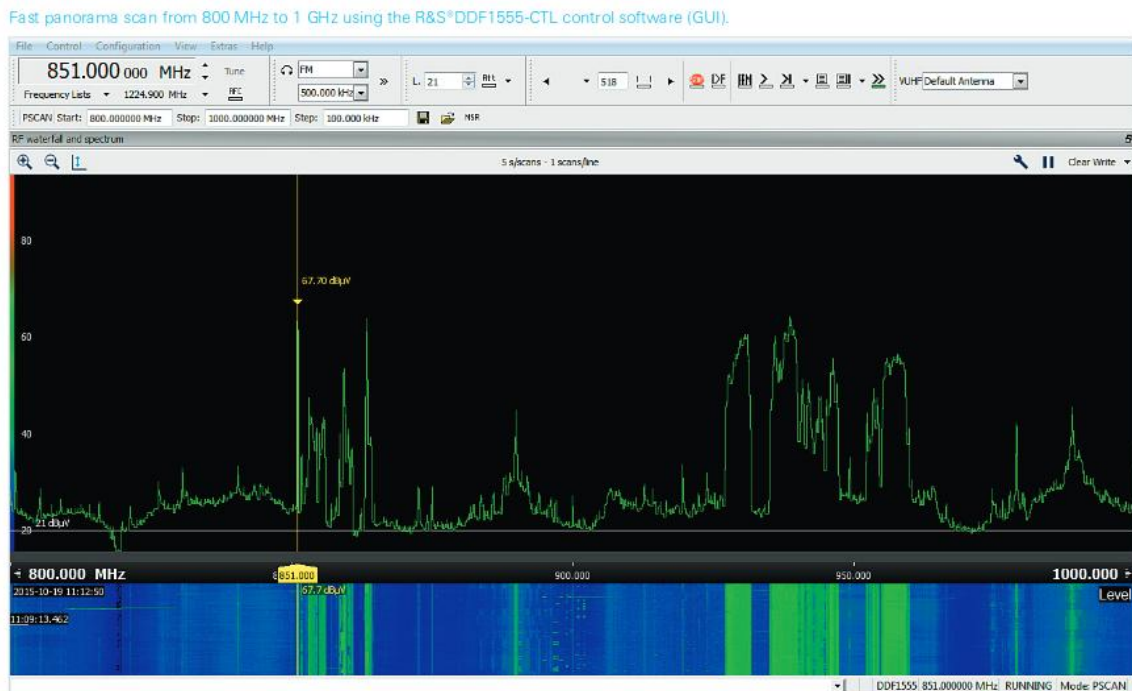


Рис. 1.12 – Інтерфейс аналізатора спектру

Веб-інтерфейс пеленгатора на планшеті Рис. 1.13.

R&S®RA-DFWEB graphical user interface on a tablet PC.



Рис. 1.13 – Веб Інтерфейс пеленгатора

Веб Інтерфейс пеленгатора з відображенням мапи та позиції з напрямком на ціль Рис. 1.14 [9].

Display of current position and DF results either in a polar representation or on map.

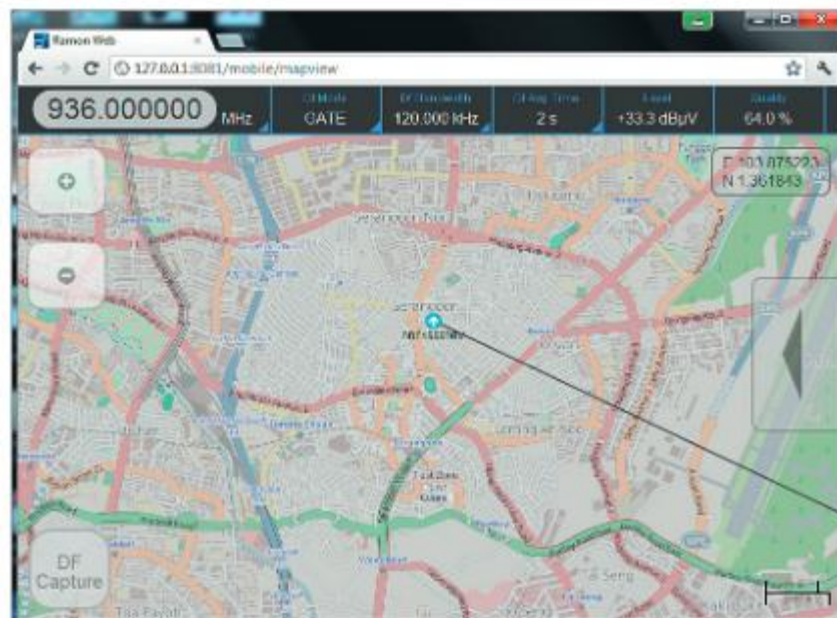


Рис. 1.14 – Веб Інтерфейс пеленгатора та мапа

Rohde & Schwarz ADD207

Компактна портативна антена пеленгатора Рис. 1.15, можливе встановлення не лише на автомобіля, а й штативі.



Рис. 1.15 – Малогабаритна антена для пеленгаторів R & S

Робочий діапазон: 600МГц - 6ГГц [10].

Narda SignalShark 3310

Портативний багатофункційний прилад **Narda SignalShark 3310** Рис. 1.16, аналізатор спектру, пейленгатор.



Рис. 1.16 – SignalShark 3310

Робочий діапазон частот 8 кГц and 8 ГГц.

Метод пеленгації кореляційний інтерферометр.

Вбудований компас та GPS модуль[11].

Narda Automatic DF-Antenna 2

До пеленгаторів німецька фірма Narda проаону.ю такі антенні системи Рис. 1.17, всередині містить комутатор та приймач координат.



Рис. 1.17 – Антена пеленаторів Narda

Робочий діапазон частот: 10МГц - 8ГГц

Габаритні розміри висота 219мм, діаметер 480мм

Одноканальна, метод пеленгації Уотсон-Ват або кореляційний інтерферометр [12].

1.5 Висновки до розділу 1

Ціна безпілотних апаратів наразі незначна, що обумовлює їх поширеність. Тому системи протидії також повинні бути невеликої вартості.

Оскільки для всіх наступних дій потрібна інформація, про наявність та координати БПЛА, увага буде сконцентрована на задачі виявлення та визначення координат, тобто – пеленгації. Для дослідних цілей розробимо систему пейлінгації.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПЕЛЕНГАЦІЇ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Історично першим методом виявлення був візуальний та акустичний. Також використовуються і оптичні системи, як активні лазерні, так і пасивні, зараз їм значного поштовку дала можливість розпізнавання образів за допомогою нейромереж. Але найбільш розповсюджений метод виявлення об'єктів у повітрі – це радіолокація та пеленгація.

2.1 Основи пеленгації

Пеленгація це - пасивна радіолокація, яка має свою специфіку таку як відсутність відомостей про тривалість опромінення, та його потужність.

Відсутність передавача спрощує, підвищує надійність та здешевлює обладнання. Пеленгація, це техніка яка дозволяє визначити кут та дистанцію до джерела сигналу. Використовуються вони у великій кількості галузей, це не лише військові та авіація.

Популярні реалізації пеленгаторів складаються з антенних решіток, на відміну від антен які механічно обертаються і приєднуються до одного чи декількох приймачів. Одноканальні забезпечують помірну точність, але мають значну перевагу з точки зору ваги, складності та енергоспоживання.

Розглянемо методи пеленгації

Тріангуляційний

Найстаріший метод, базується на вимірюванні кутів напрямку на джерело випромінювання, з двох точок прийому рознесених на деяку відстань.

Координати визначаються за точкою перетину двох ліній. Точність визначення координат залежить від точності визначення кутів та розміру бази.

Недолік - вимагає великою бази(великої відстані між антенами).

Гіперболічний або різнодальномірний метод

Базується на визначенні різниці відстаней від джерела випромінювання до точок прийому. Координати джерела випромінювання знаходяться як місця перетину фокусів (геометричних місць точок) двох гіпербол[13].

Недолік - для визначення координат потрібно мати як мінімум 3 точки прийому, та велику базу.

Амплітудний метод пеленгання

Розрізняють наступні амплітудні методи: метод максимуму, метод мінімуму, рівновингвальний метод та метод порівняння.

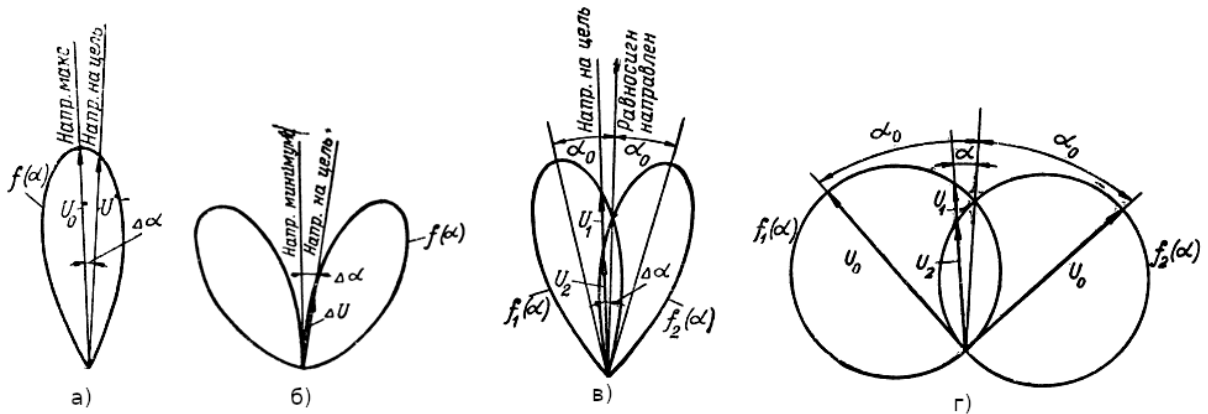


Рис 2.1 – Методи пеленгації

Метод максимуму рис. 2.1 а напрямок на ціль визначають за максимумом, коли амплітуда сигналу досягне найбільшої величини. Перевага такого метода в найкращому відношенні сигнал шум.

Метод мінімуму рис. 2.1 б напрямок на ціль визначають за мінімумом, коли амплітуда сигналу досягне найнижчої величини. Така характеристика ДС може бути отримана протифазним включенням двох антен. Точність такого метода краща ніж у методу максимуму.

Рівновингвальний метод рис 2.1 в про напрямок на ціль судять по напрямку лінії рівних сигналів. Точність такого метода також краща ніж у

методу максимуму також дозволяє вести ціль за відхиленням равногнального напрямку.

Метод порівняння рис 2.1 г приймаючи сигнал на 2 антени і при однакових характеристиках антен за різниця амплітуд буде пропорційна куту [14].

Перевага, низька складність і вартість.

Недоліки - мала точність, чутливість до амплітуди сигналу.

Фазовий метод пеленгації

Про напрямок на ціль судять по різниці фаз двух рознесених у просторі приймальних антен ціль. Рисунок 2.1.2 ціль в точці М та приймальні антени в точках А, В на площині [14].

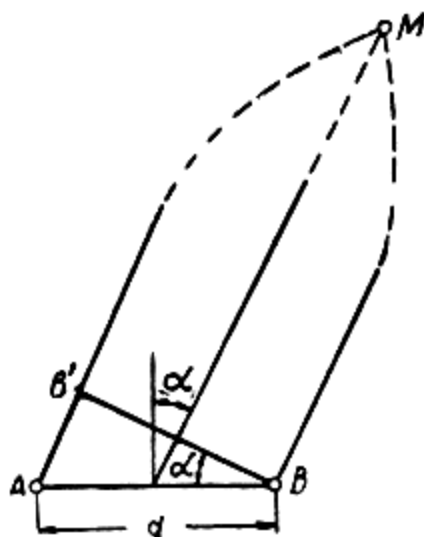


Рис 2.2 – Фазова пеленгація на площині

Різниця фаз

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (R_1 - R_2),$$

де d_1 - відстань між точками А та М, d_2 - відстань між точками В та М

Звичайно $R_1 \gg d$ та $R_2 \gg d$ то

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \alpha$$

де d – база радіопеленгатора, а α – кут між нормаллю до бази та напрямком на ціль.

Зручність системи, не вимагає великої бази, можливість розміщення будь-де (стаціонарно ,автомобіль, літак).

Недолік, висока складність, висока вартість

Доплерівський та псевдодоплерівський пеленгатори підвид фазових.

На основі характеру доплерівського зсуву частоти можна визначати напрям, система пеленгації повинна рухатися у просторі з відомими параметрами руху(розміщення на супутниках) або мати декілька позицій приймання та визначення кута[15] .

Найбільш відомі одноканальні системи пеленгації базуються на алгоритмах Уотсона-Ватта (Watson–Watt) та Доплера/Псевдодоплера [15, 16]. Алгоритм Уотсона-Вата Рис 2.3 працює з амплітудами, а алгоритм Доплера/Псевдодоплера працює з фазами сигналів. Багатоканальні системи забезпечують кращу точність з точки зору вартості обладнання. Відомі приклади багатоканальних алгоритмів MUSIC та ESPRIT[17, 18, 19].

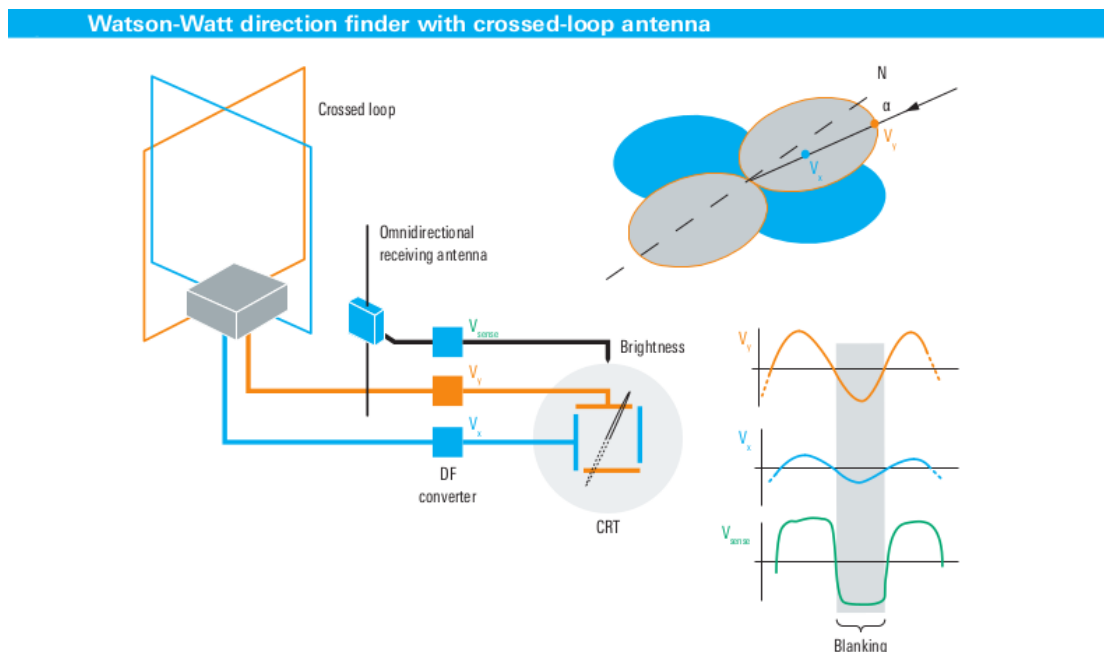


Рис 2.3 – Алгоритм пеленгації Уотсона-Вата

Ілюстрація принципу роботи алгоритму Уотсона-Вата рис 2.3 [20].

2.2 Обґрунтування вимог та технічних характеристик для системи пеленгації.

Оскільки пеленгатори відносяться до пасивних систем, що приймають сигнал від випромінюючих радіоелектронних систем, то однією з головних частин буде антенна система. Для підняття відношення сигнал/шум слід використовувати направлені антени.

В пеленгаторі не будемо використовувати антену, що обертається, вона підвищить складність та вартість, і знизить надійність. Розглянувши серійну систему пеленгації можливо побачити, що вони використовують від 5 і більше антен по колу, та антенний комутатор.

Ефективність пеленгації залежить від ймовірності знаходження джерела випромінювання в заданому кутовому секторі, якщо джерело рухається з великою швидкістю, то час знаходження буде тим менший, чим більша швидкість або менша відстань. А отже потрібна висока швидкодія комутатора. На щастя зараз існує широкий вибір електронних комутаторів в інтегральному виконанні.

В якості методу роботи візьмемо амплітудний за максимумом, як найменш вимогливий до якості приймального тракту та обробки сигналу. Габарити та маса яка дозволяє змонтувати пеленгатор не лише стаціонарному виконанні, але і на легковому автомобілі або причепі.

Живлення зовнішніх блоків напругою не більше ніж 48 В. Дальність дії не менше 2 км.

2.3 Структурна та функціональна схеми системи пеленгації

Розробимо структурну схему вузлів пеленгатора. Почнемо з антени, обмежемо її діаметр 1 м. та висоту 0.7 м.. Приймати бажано як вертикальну так і горизонтальну поляризації. Антенну систему можна зробити з антенами на 4 напрями, але тоді буде неефективно використовуватися

внутришній об'єм, також можна побачити, що в серійних пеленгаторах чим більше антен тим краще. Можна виготовити, 6 але в такий об'єм модна вмістити більше, отже, оберемо 8, бо більшу кількість кутів важко виготовити. За результатами макетування з'ясовано, що особливо проблемно розмістити більше 8 антени горизонтальної поляризації.

Структурна схема пеленгатора рис 2.4: антенна система з 8 антен вертикальної поляризації та 8 антен горизонтальної поляризації, комутатор, sdr-приймач , система обробки, керування та інтерфейс на базі комп'ютера.

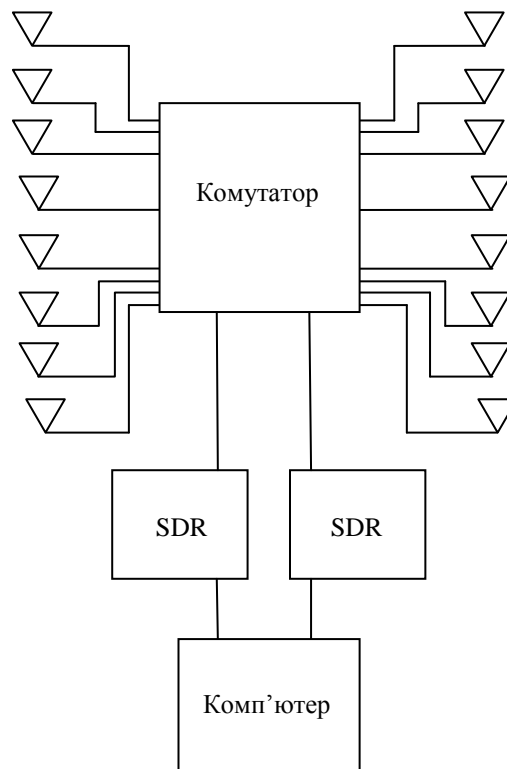


Рис 2.4 – Структурна схема виявлення та блокування каналів зв'язку з БПЛА

2.4 Висновки до розділу 2

В цьому розділі було розглянуто, які види БПЛА існують, розглянули деяке доступне обладнання зв'язку ними. Розглянули спектри та сингали яке випромінює деяке обладнання. Проаналізували засоби протидії БПЛА. Розглянули серійне обладнання пеленгації, від провідних виробників, та методи пеленгації. Було формовано технічні вимоги, та блок схему пристрою.

РОЗДІЛ 3. Реалізація системи пеленгації каналів керування БПЛА

В цьому розділі ми розглянемо:

- загальний контруктив системи пеленгації джерел радіовипромінення;
- проектування антеної системи та окремих антен у їх складі;
- блок комутації сигналів з антен, його структуру, конструктив та експериментальні параметри;
- підходи, щодо алгоритмів роботи системи виявлення та блокування каналів зв'язку з БПЛА.

3.1 Загальна конструктив

Зовнішній блок у склад якого увійде антенна система та комутатор, виконаємо у вигляді конструкції яка накриється радіопрозорим куполом.

В якості приймачів використаємо HackRF, це SDR приймач невисокої вартості, з робочим діапазоном 1 МГц - 6 ГГц.

Для оброблення сигналів, керування та індикації доцільно використовувати обчислювальні потужності персонального комп'ютера з ПЗ на основі GNU Radio.

Під час розробки було додано ще один комутатор орієнтовно на діапазон 30-700 МГц та 8 магнітних кілець з малошумними підсилювачами (МШП). Також було додано конусно пластинчасту антенну, її можна використовувати в якості контрольного або опорного каналу.

3.2 Конструкція антенного блоку

Багато серійних моделей пеленгаторів в якості антен використовують напівхвильові вібратори, але вони не задовольняють вимогам щодо широкосмуговості. Тому за основу антенної системи радіопеленгатора обрано логоперіодичні антени, оскільки вони задовольняють вимогам щодо

широкосмуговості, та мають відносно вузьку ДС. Також на основі антен звуженими ДС є можливість використовувати амплітудний метод пеленгації.

Антенну систему побудуємо на основі ламелей з логоперіодичними антенами розміщеними по колу через 45 градусів. На кожній ламелі розміщено 2 логоперіодичні антени вертикальної поляризації. Першу вертикальну антену піднято над горизонтом на кут в 20 градусів, другу на 40. Це зроблено для того, щоб ДС не чіпляла землю та по куту місця було повне покриття. Під ламелями розташовано логоперіодичні антени горизонтальної поляризації їх лише 8.

Каркас виконано з органічного скла, з огляду на доступність та вартість матеріалу. Комутатори розташовані в центрі. Рисунок 3.1 3D модель антенного блоку в зборі.

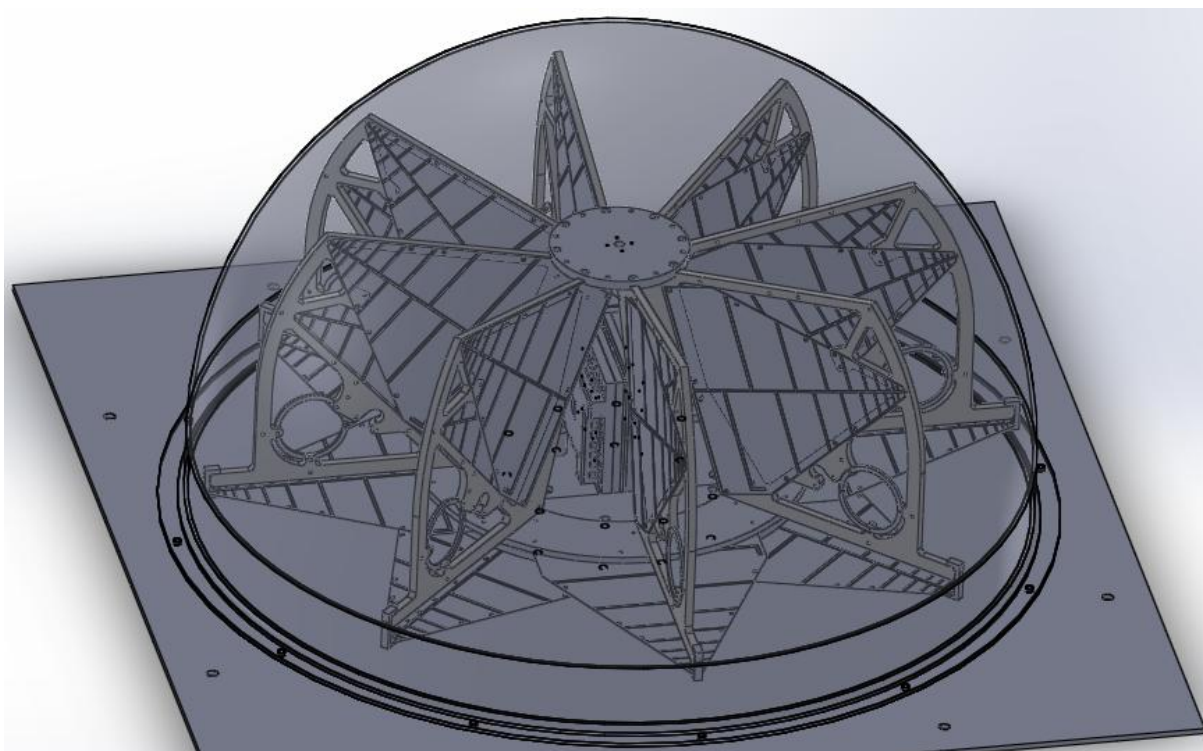


Рис 3.1 – 3D модель антенного блоку в зборі

3.3 Логоперіодичні антени

Антени виконані методом друку рис 3.2, це дозволяє мати точну геометрію і малу товщину.

Діапазон 0.7- 6 ГГц.

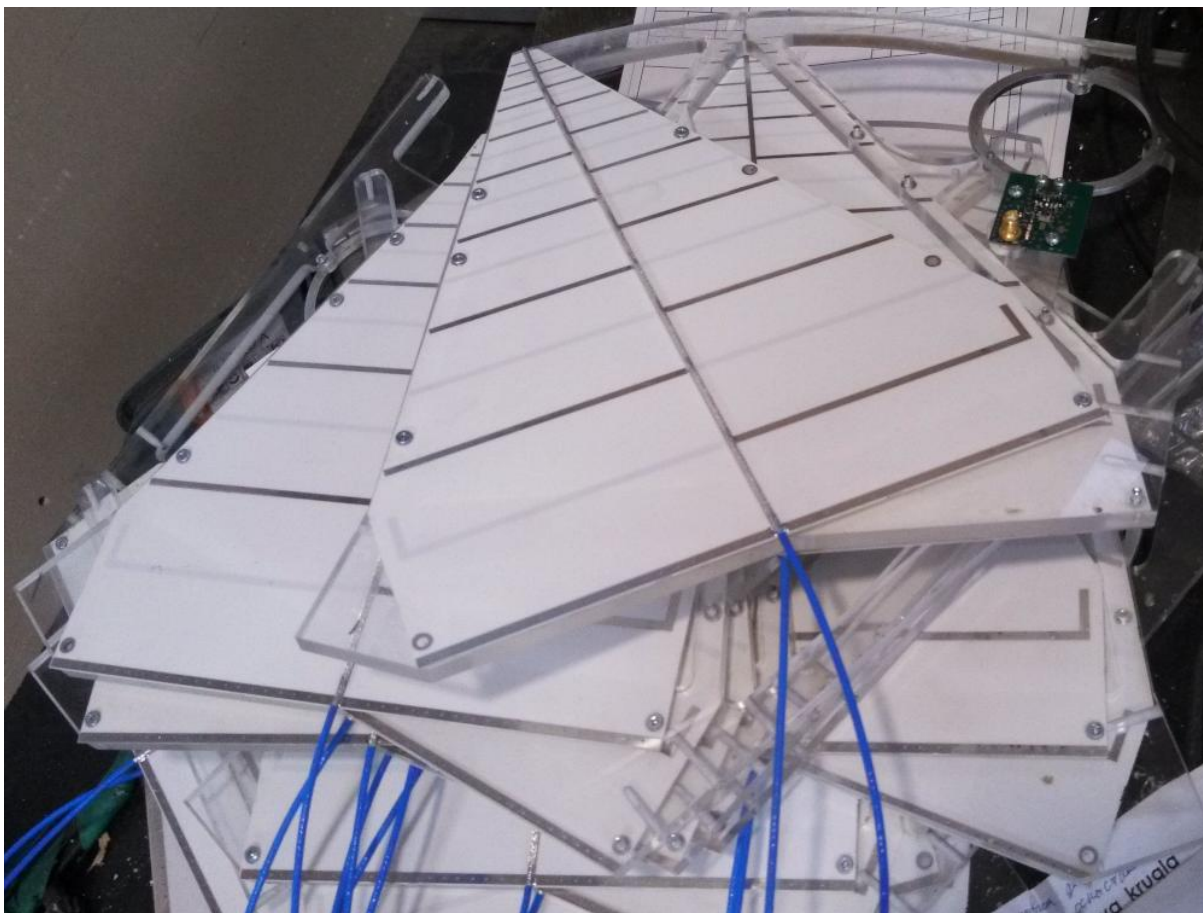


Рис 3.2 – Логоперіодичні антени на ламелі.

Діаграми спрямованості у вертикальній площині на частотах 2.4 та 5 ГГц (рис. 3.4). Діаграми спрямованості у горизонтальній площині на частотах 2.4 та 5 ГГц (рис. 3.4).

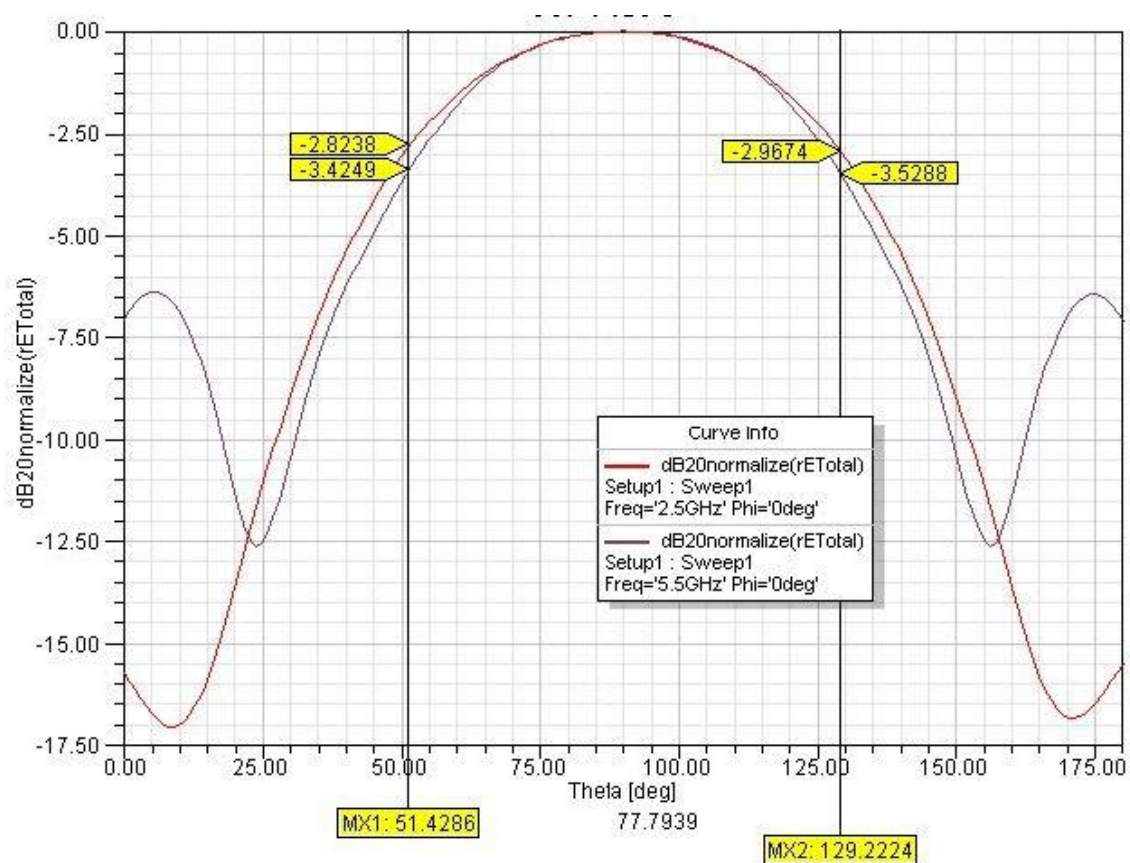


Рис. 3.3 ДС у вертикальній площині на частотах 2.4 та 5 ГГц

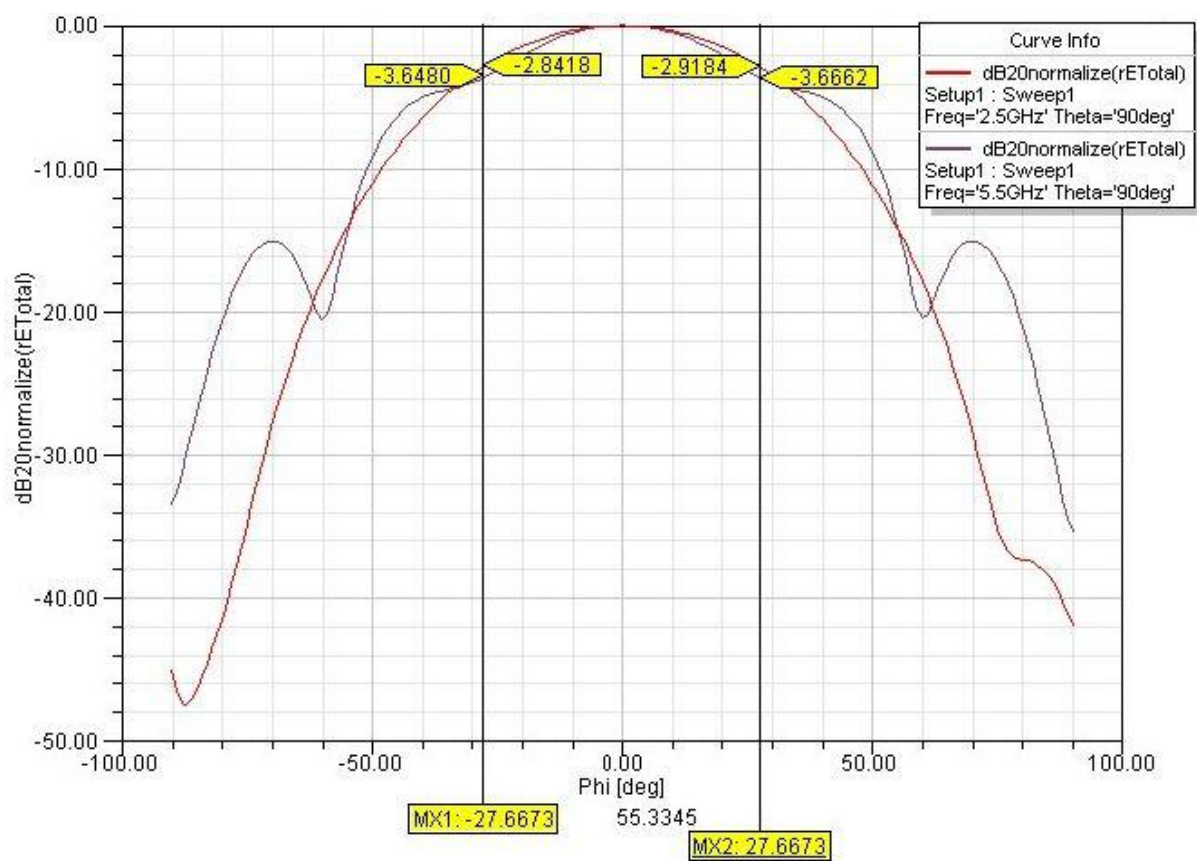


Рис. 3.4 – ДС у горизонтальній площині на частотах 2.4 та 5 ГГц

Підсилення логоперіодичної антени становить 7-8 дБ з ДС 60 градусів в вертикальній та горизонтальній площині. На майбутнє потрібно змінити контруктив, а сторону здешевлення вартості матеріалів.

3.4 Блок комутації антен

Блок комутації антен функційно складається з вузлів: вторинного живлення, вузла керування, інтерфейсу зв'язку та чотирьох однакових вузлів ВЧ комутації.

Виконання у вигляді гермоблоку, матеріал - алюмінієві сплави, для герметизації використовуються ущільнювачі та герметик.

Для мінімізації масо-габаритних параметрів та забезпечення параметрів використано:

- інтегральні підсилювачі,
- інтегральні електронні комутатори,
- для керування комутацією використана програмована вентильна матриця (ПЛІС),
- для інтерфейсу зв'язку використано мікросхему оптичної розв'язки, для живлення її інтерфейсної частини застосовано окремий перетворювач напруги з ізольованим виходом,
- для живлення застосовано імпульсний перетворювач та лінійні, також в інтегральному виконанні.

ВЧ частина комутатора складається з чотирьох функційно однакових вузлів рис 3.5, рис 3.6, рис 3.7, рис 3.8. Розглянемо один з вузлів комутації, він складається з комутаторів 2 в 1 та 3 в 1. Обидва комутатори виробництва Peregrine Semiconductor Corp. Ці інтегральні комутатори мають захист від статичної напруги до 4-х кВ, смуга пропускання від 30 МГц до 6 ГГц та внутрішні втрати менше 2.35 дБ максимальний час комутації 4 нс. Застосовані малощумлячі підсилюючі LEE2-6+ фірми Mini-Circuits з робочою частотою до 7 ГГц.

Кожен функційний вузол комутатора, для гарної розвязки між каналами на ВЧ, комутує лише шість антен, 3 знаходяться на одному куті, інші – 180 градусів, тобто оди набір антен відносно іншого знаходиться в задній пелюстці. Входи комутатора піписані рис 3.5: перша ламель (кут 0 градусів) антенна горизонтальної поляризації - 1h, перша ламель (кут 0 градусів) вртиепльна поляризації перша антена - 1v1, перша ламель (кут 0 градусів) вртиепльна поляризації друга антена - 1v2.

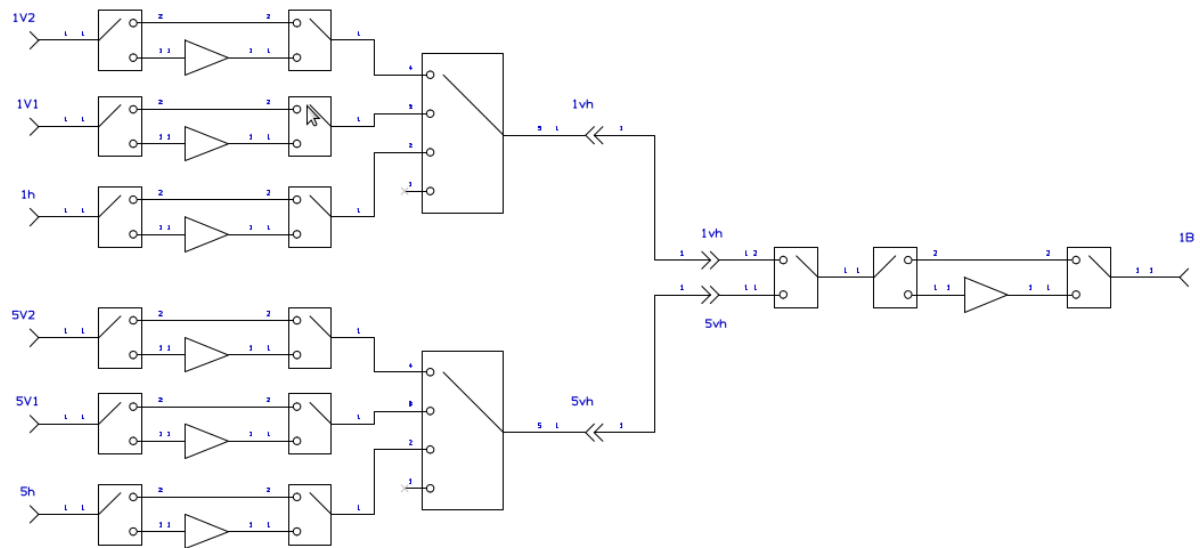


Рис. 3.5 – 1-й функцій ний вузол ВЧ комутатора

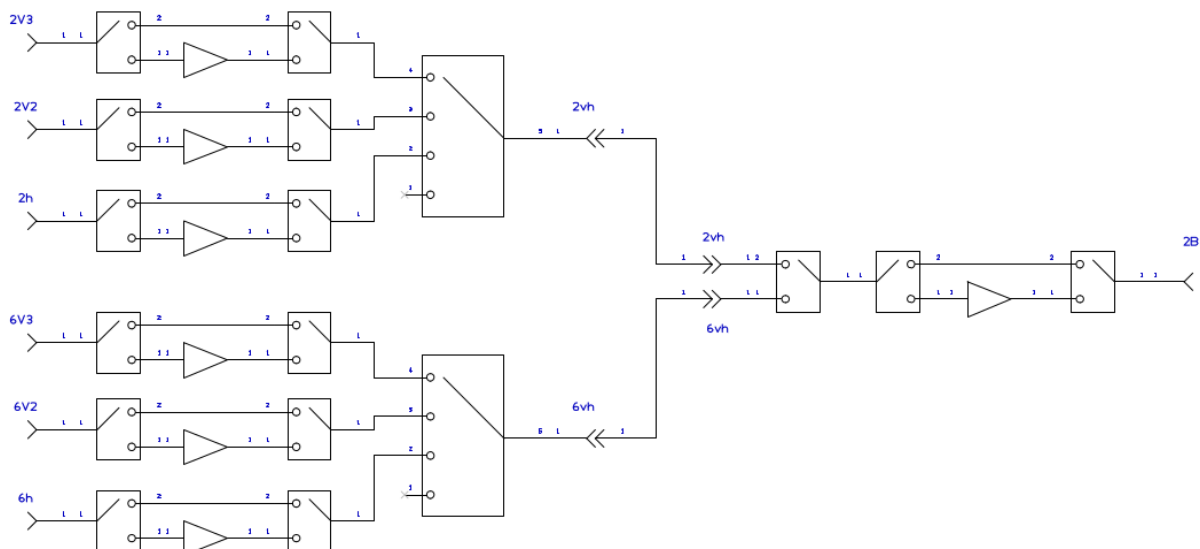


Рис. 3.6 – 2-й функцій ний вузол ВЧ комутатора

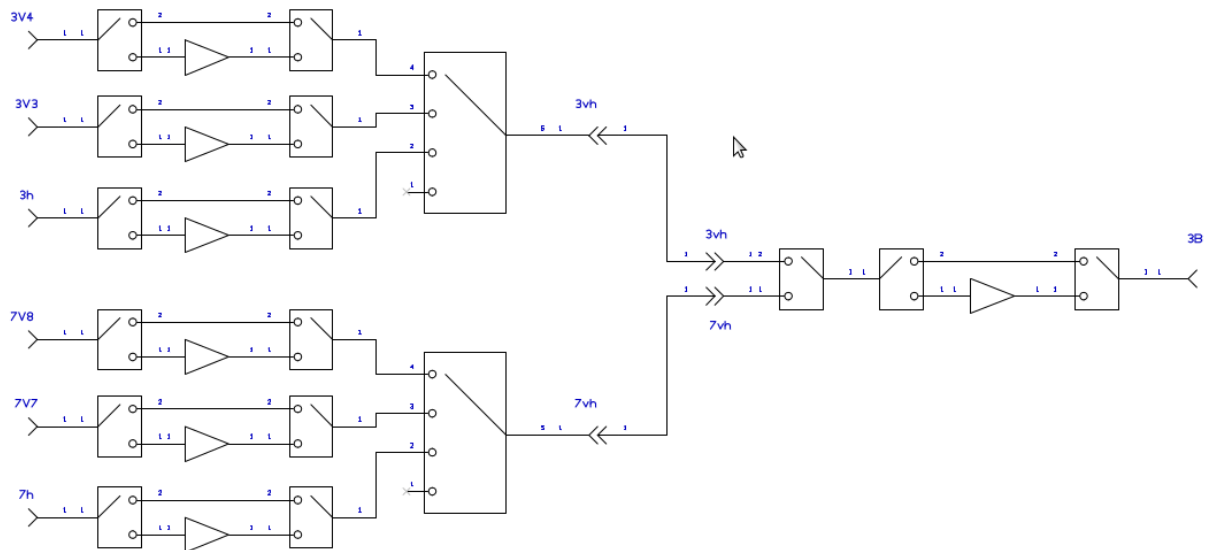


Рис. 3.7 – 3-й функцій ний вузол ВЧ комутатора

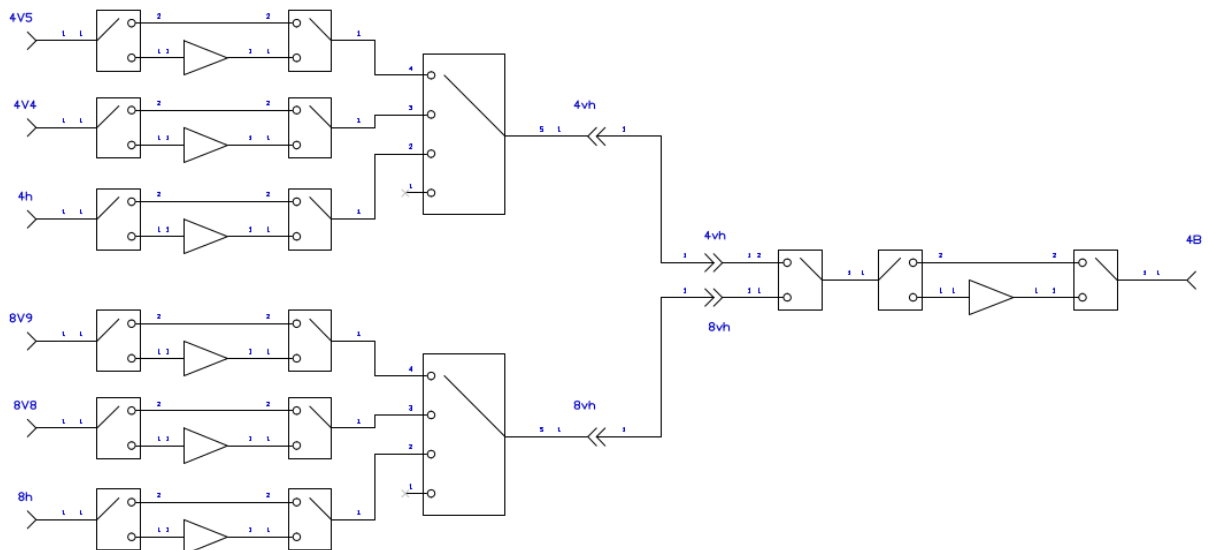


Рис. 3.8 – 4-й функцій ний вузол ВЧ комутатора

Кожен функційний вузол буде обслуговувати лише 2 ламелі які знаходяться она відносно іншої під кутом 180 градусів. Така архітектура дозволяє отримати кращу розв'язку між каналами, бо на високих частотах з нею проблеми.

Високочастотна частина комутатора виконана друкованим методом на одній двошаровій платі (рис. 3.9 – 3.10). Нижній шар майже весь містить земляний полігон. Мікросмужкові лінії розраховані на хвильовий опір 50 Ом з урахуванням товщини матеріалу та його діелектричної проникності.

Вигляд виготовленої плати в корпусі наведено на рис. 3.11.

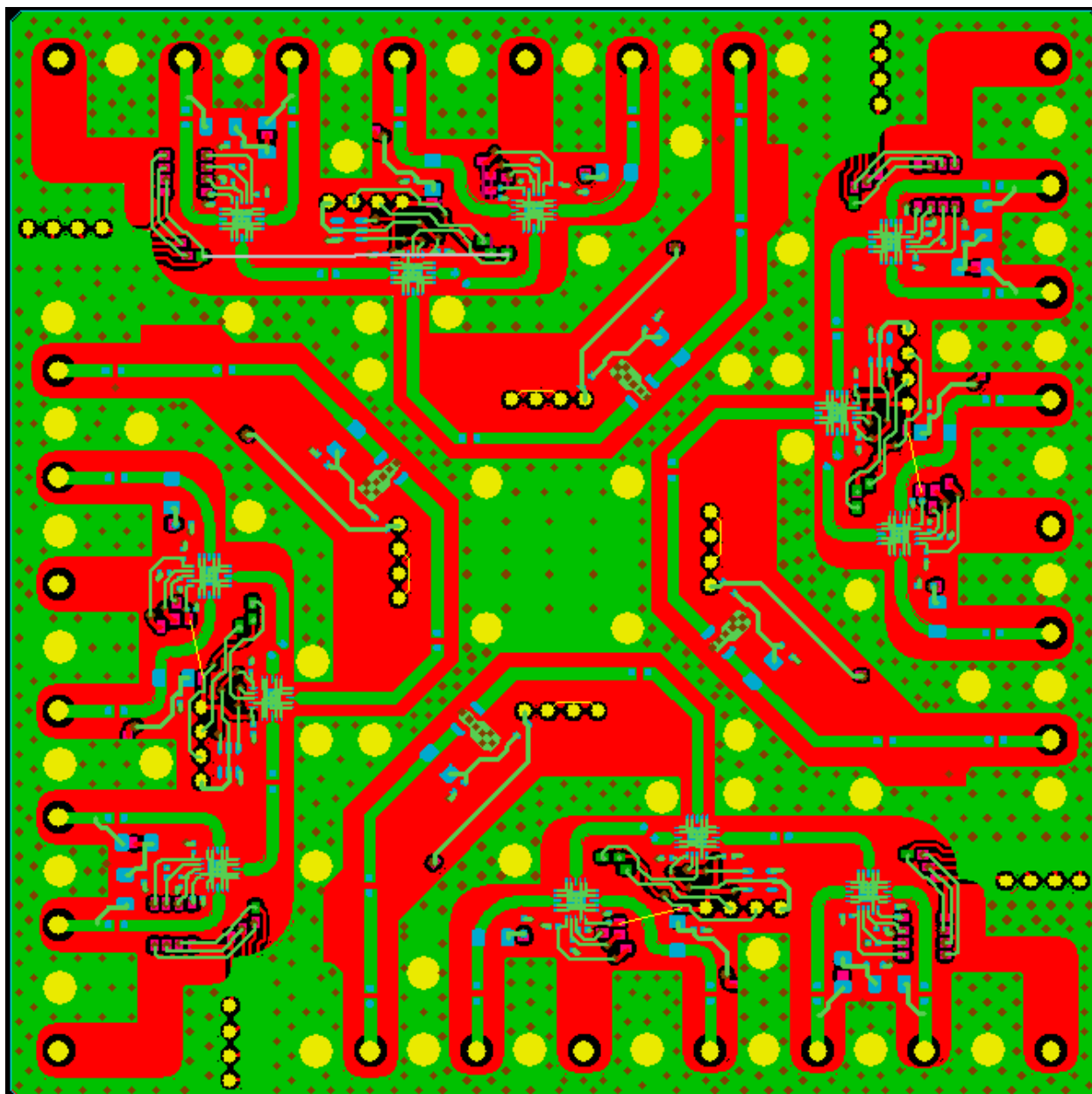


Рис. 3.9 – Верхній шар друкованої плати ВЧ комутатора

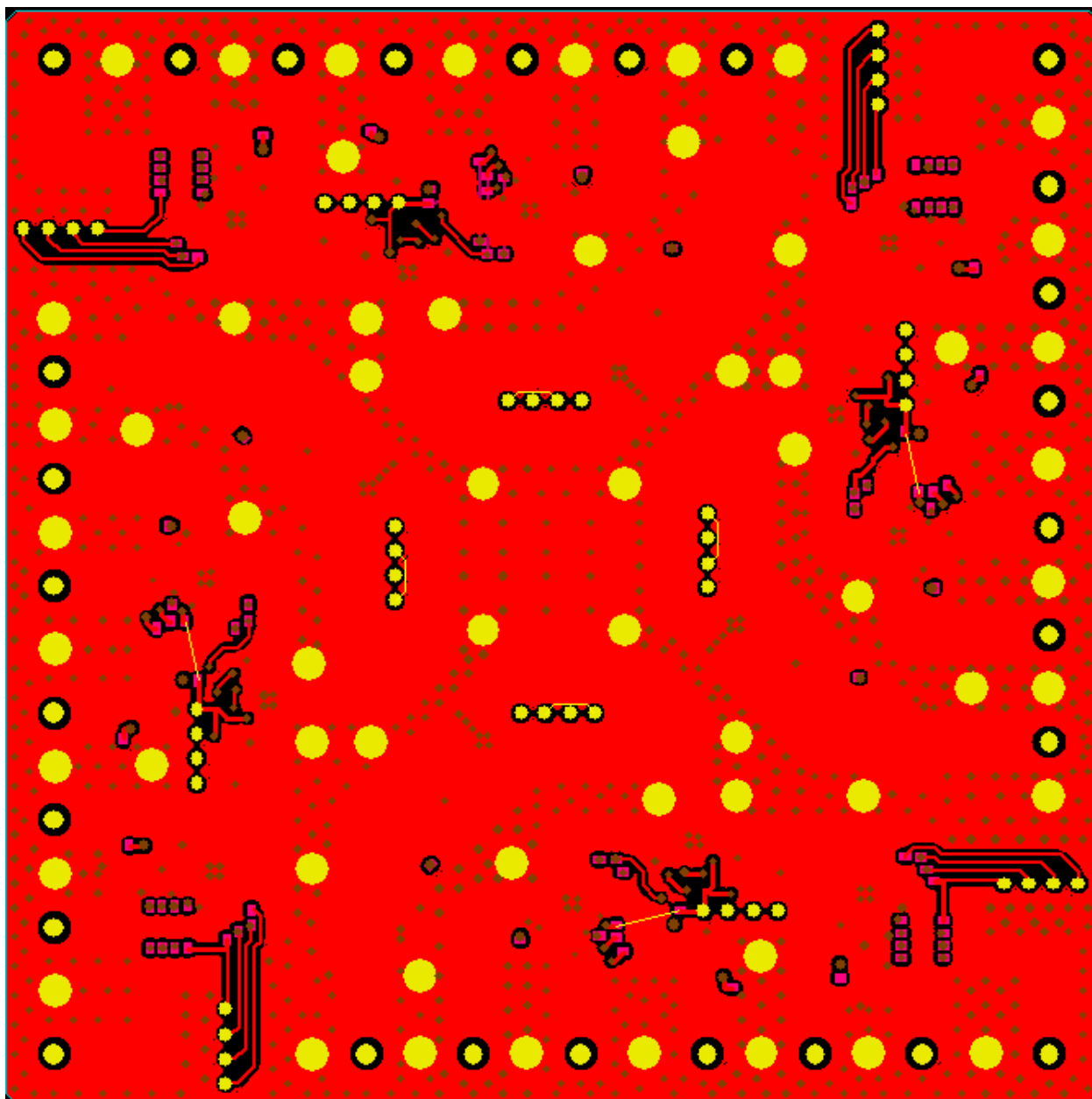


Рис. 3.10 – Нижній шар друкованої плати ВЧ комутатора

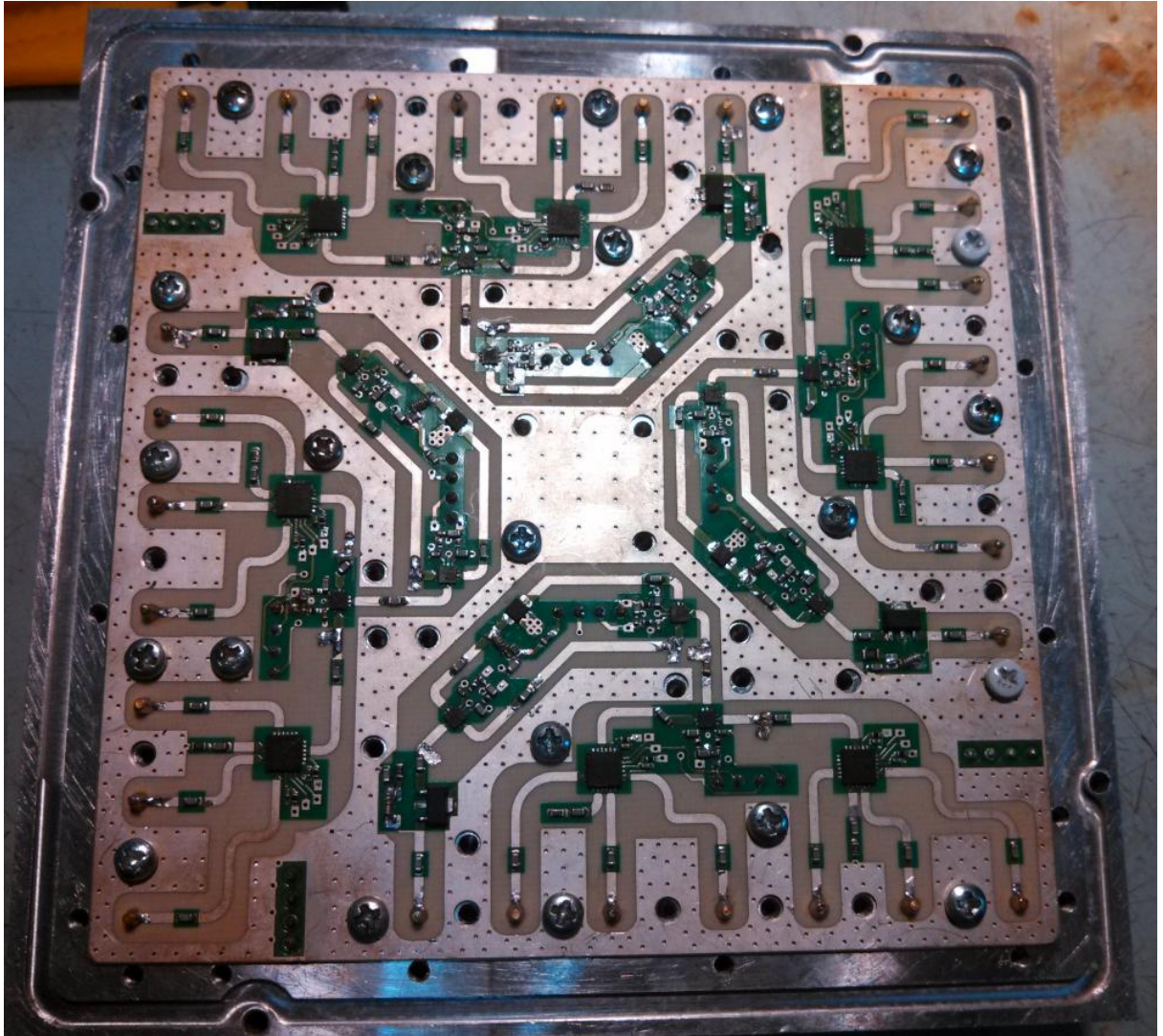


Рис. 3.11 – Плата ВЧ комутатора під час монтажу роз'ємів

Для екранування всього блоку та окремих вузлів від взаємного впливу, а також захисту від механічних впливів корпус виготовлено методом фрезерування з алюмінієвого сплаву. Кришки мають резинові ущільнювачі. Для ВЧ плати комутатора була сконструйована та виготовлена кришка складної форми, що наведена на рис. 3.12.

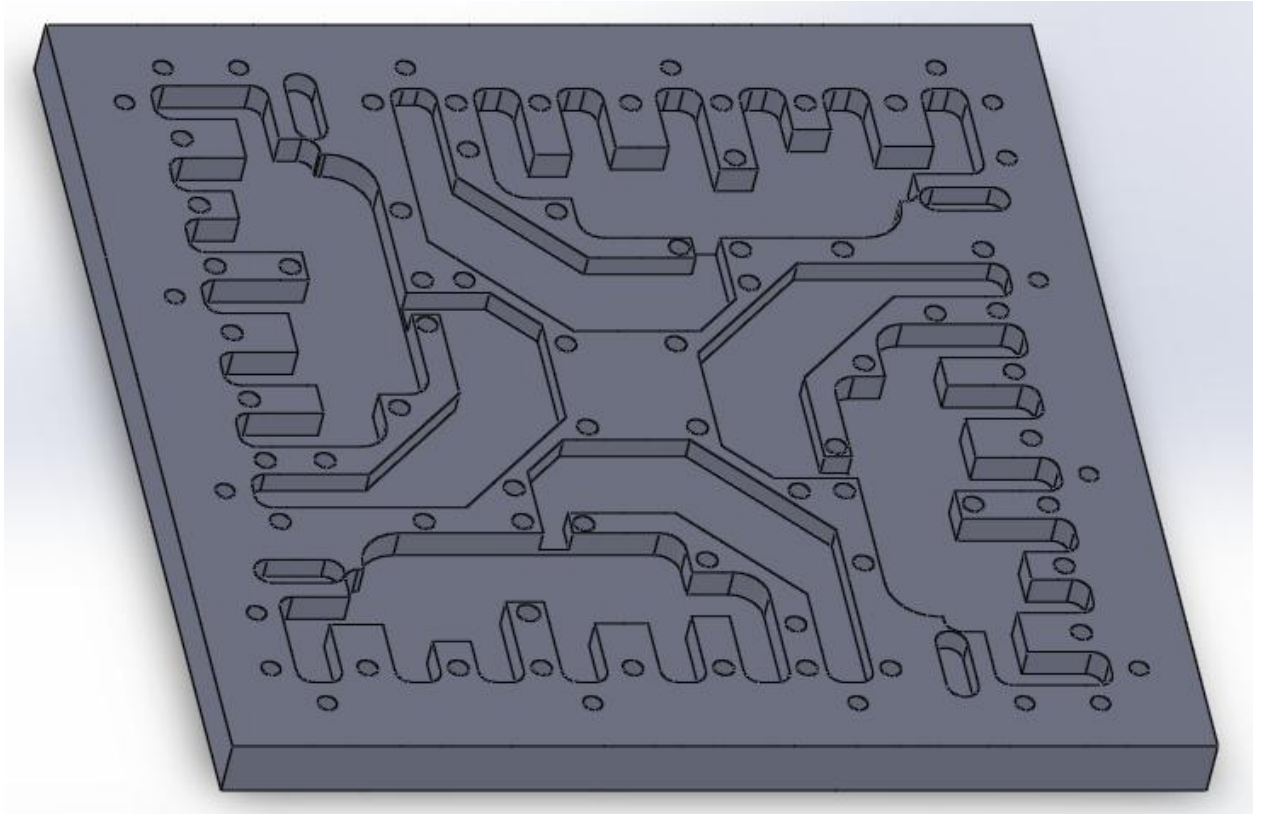


Рис. 3.12 – 3D модель кришки плати ВЧ комутатора

3.4.2 Плата керування блоком комутації антен

На рис. 3.13 показано вигляд друкованої плати керування. Плата розроблена на основі планарних компонентів за виключенням роз'ємів та ізолюваного перетворювача напруги рис. 3.14.

Блок вторинного живлення перетворює вихідну напругу в 3.3 В та -3.3 В він реалізований, для живлення частини гальванічно розв'язаного інтерфейсу зв'язку використовується окремий перетворювач напруги 3.3 В в 3.3В.

Вузол керування комутацією побудовано на ПЛІС з міркувань швидкодії та паралельного керування комутацією. Також використання ПЛІС додає гнучкості, на відміну від жорсткої логіки, алгоритм комутації можна доволі легко змінити.

Один електроний коммутатор має максимальний час перемикання 4 мкс, на шляху сигналу їх мінімум 2, але ПЛІС дозволяє перемикати їх

паралельно тобто час перемикання не буде перевищувати 4 мкс. Тобто 1 секунду ми можемо виконати 250 000 перемикань, але це без урахування часу на приймання, та обробку сигналів. Також слід зауважити на те, що смуга приймання та динамічний діапазон обмежений смугою та розрядністю швидкодіючих АЦП. У разі потреби збільшення розрядності, також значно зросте їх вартість.

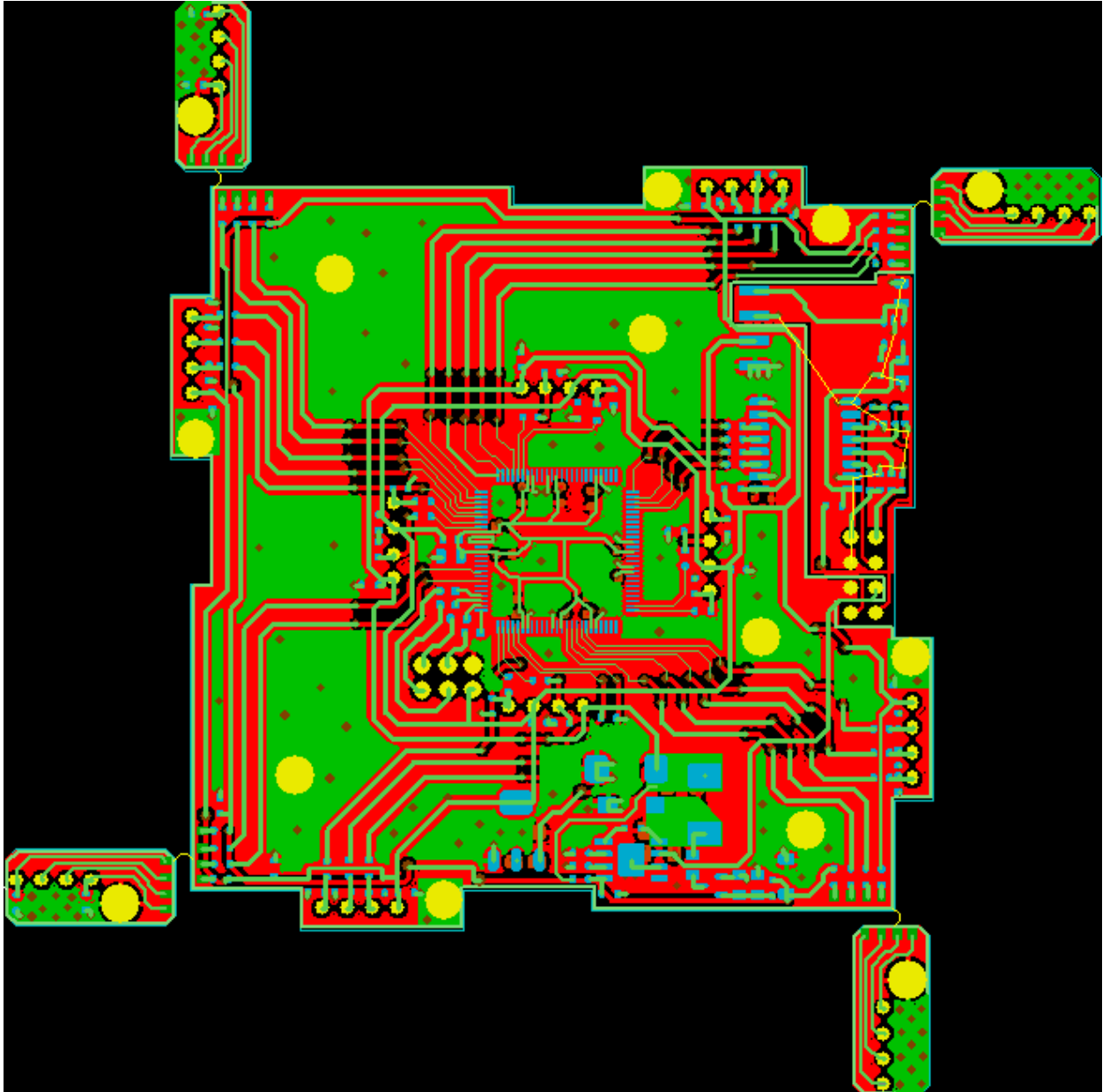


Рис. 3.13 – Вершній шар плати керування.

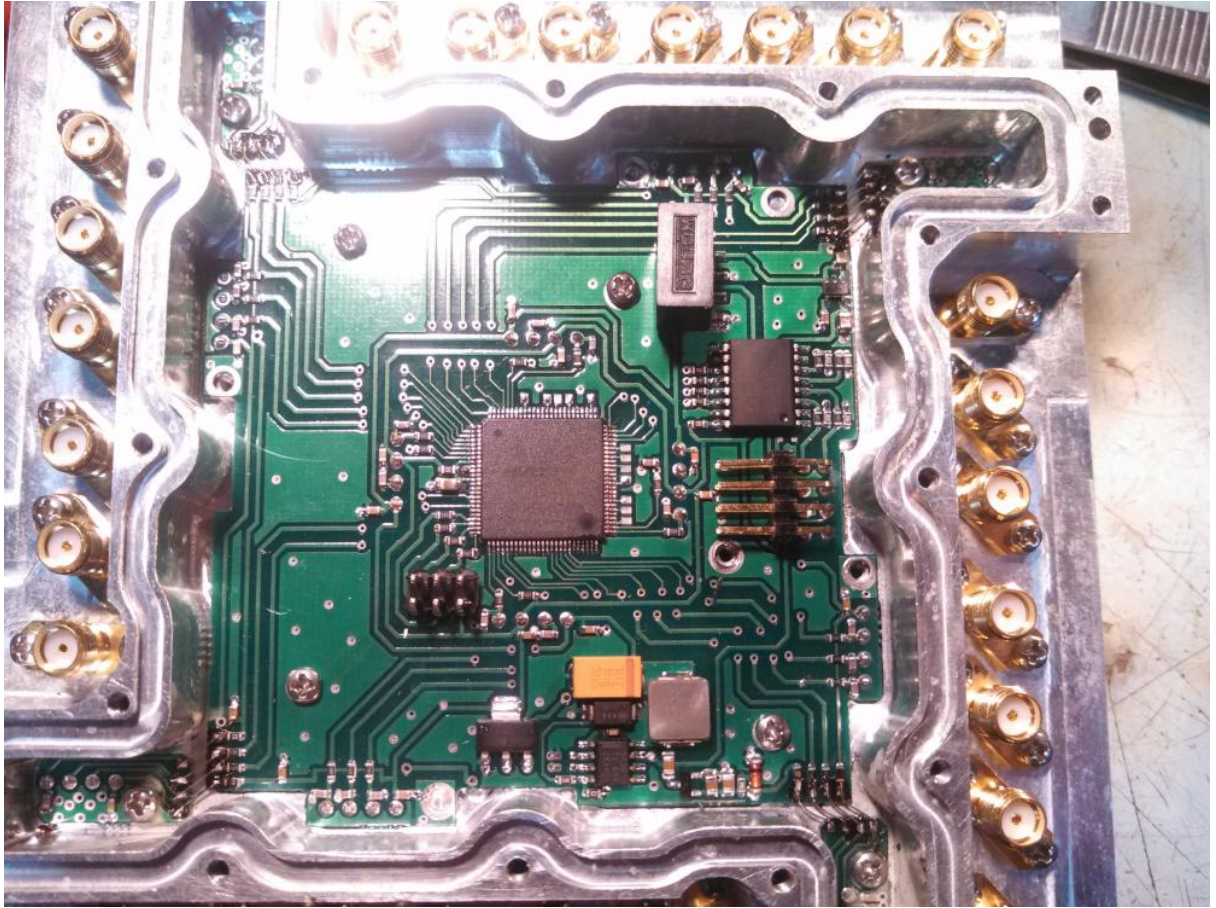


Рис. 3.14 – Плата керування у корпусі

Комутатор діапазона 30-700МГц має точно таку плату керування, та іншу, простішу, плату ВЧ комутації.

Загальний вигляд зібраних блоків рис. 3.15.

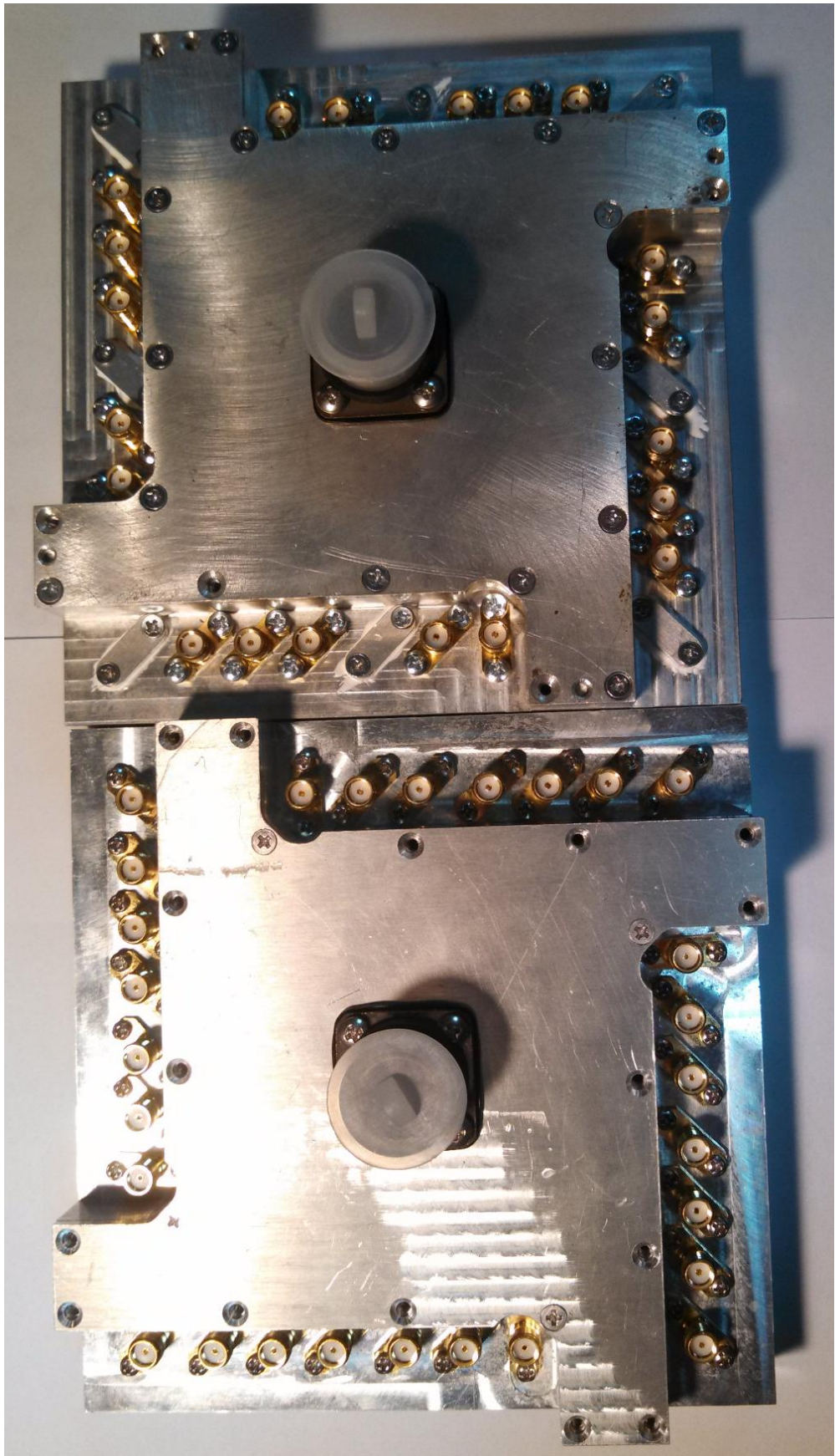


Рис. 3.15 – 2 бока комутації, нижній 0.7-6ГГц, верхній 30-700МГц

3.4.1 Дослідження нерівномірності в трактах комутатора

На рис. 3.16 – 3.17 наведено результати вимірювання нееріномірності трактів комутатора. Нерівномірність склала менше 3дБ, в частотному діапазоні 500МГц - 6ГГц.

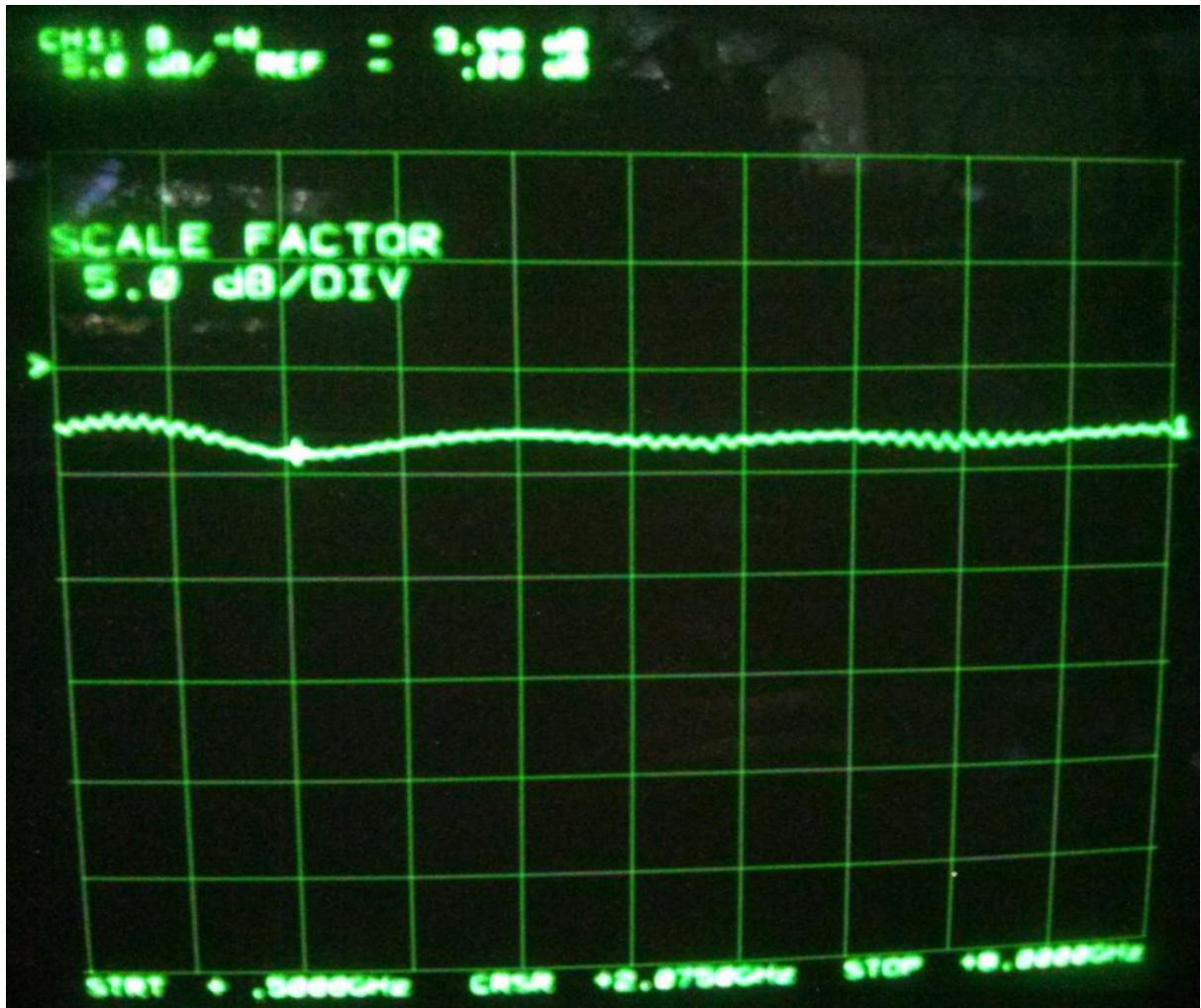


Рис. 3.16 – Нерівномірність в тракті 1

Інший канал комутатора також в робочій смузі менше 3дБ, в частотному діапазоні 500МГц - 6ГГц.



Рис. 3.17 – Нерівномірність в тракці 2

3.4.3 Алгоритм роботи блоку комутації антен

Оскільки маємо ДС антен близько 60 градусів то при амплітудному методі можна використовувати антени розташовані під кутом 45 та 90 градусів, більше не дозволяє ДС.

За один цикл обходу по колу можливо просканували лише невелику частотну смугу, це принципове обмеження приймачів, тому сканувати будемо в смузі в якій дозволяє приймач. Послідовно обходимо цікаві нам діапазони частот 2.4ГГц, 5.8ГГц, 915МГц, 1.2ГГц. Взагалі розробка ефективних алгоритмів, можливо адаптивних, може значно покращити час виявлення.

Маючи 4 приймальні канали на данній системі можна реалізувати не лише амплітудні методи, а й фазові.

На рис 3.17 можна побачити загальний вигляд отриманої конструкторної антенного блоку.



Рис. 3.18 – Антенна система та комутатори в зборі

3.5 Висновки до розділу 3

В данному розділі було сформовано загальний конструктив антенного вузла та антенного блоку. Коротко розглянуто параметри використаних антен. Розглянута логічна структура комутатора, та його розробка. Представлено параметри нерівномірності АЧХ в декількох каналах комутатора. Розглянуто деякі моменти, що до алгоритмів роботи. Представлено вигляд зібраної антенної системи з комутаторами.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В цьому розділі будуть розглядатися питання шкідливих факторів при виконанні дипломної роботи, та питання комфорту.

Основна частина роботи виконана на ноутбучі lenovo серії thinkpad, та моніторі фірми hp з матрицею 27” виконаною за технологією ips. Обидва екрани не випромінюють м’яке рентгенівське випромінювання так як побудовані на технології рідких кристалів та мають світлодіодну підсвітку.

4.1 Встановлення потенційно небезпечних чинників

- Освітленість робочого місця
- Мікроклімат
- Пожежна безпека
- Електробезпека
- Електромагнітне випромінювання
- Безпека в надзвичайних ситуаціях

Загальні умови

Просторе приміщення, в якому відбувалася роботи знаходиться на третьому поверсі адміністративно-промислової будівлі. Покриття підлоги паркет, стіни – фарбовані. Вимоги такі:

- Довжина приміщення – $l=12\text{м}$
- Ширина приміщення – $w=10\text{м}$
- Висота стелі – $h=3.2\text{ м.}$
- Загальна площа приміщення $S_{\text{пр}} = l \cdot w = 12 \cdot 10 = 120\text{ м}^2$
- Загальна площа меблів $S_{\text{м}} = 21.20\text{ м}^2$
- Корисна площа приміщення $S_{\text{к}} = 120\text{ м}^2 - 21.20\text{ м}^2 = 98.8\text{ м}^2$
- Корисний об’єм приміщення $V_{\text{к}} = 98.8\text{ м}^2 \cdot 3.2\text{ м} = 316.16\text{ м}^3$

За національним стандартом ДСТУ Б В.1.1-36:2016 є обмеження на кількість працівників від робочої площі та об'єму приміщення. Обмеження становить не менше 6 м^2 та 15 м^3 на працівника. В приміщенні працювало до 3-х чоловік.

Маємо на 1-го працівника:

$$\text{Площу} - S = \frac{98.8}{3} = 32.9 \text{ м}^2$$

$$\text{Об'єм} - V = \frac{316.2}{3} = 105.4 \text{ м}^3$$

Отже ми з великим запасом вкладаємося в норми.

5.2 Освітлення робочої зони

Кімната з гарним природним освітленням та панорамним остекленням. Його площа складає $S = 12 \cdot 0.9 = 27.6 \text{ м}^2$. Роботу за екраном монітора можна віднести до III розряду робіт, то загальний обсяг освітленості у робочій кімнаті має складати від 200 до 400 лк. ДБН В.2.5-28-2018 (Норми штучного та природного освітлення виробничих приміщень). Інколи виникають потреби робіт найвищої точності (I категорія зорових робіт) для них існує додаткове локальне освітлення.

5.3 Мікроклімат

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 установлені параметри виробничого мікроклімату, які забезпечують комфортні умови праці.

Конструювання, налагодження прототипів, збоку модно віднести до категорії 1а - легкі фізичні роботи (роботи, виконувані сидячи і не потребуючі фізичного напруги), при яких енерговитрати людини не перевищують 138 Вт (до 120 ккал/ч).

Мікроклімат залежить зовнішніх кліматичних умов, від розміщення так контрукції будівлі, від розташування меблів, та джерел випромінення тепла, наявності приточно-витяжної вентиляції.

Для опалення в приміщенні встановлено батареї водяного опалення та кондиціонер, з функцією нагріву. В літню спеку використовуються функціонал охолодження.

5.4 Електробезпека

Приміщення приміщення відноситься до сухих, так як відносна вологість у приміщеннях не перевищує 60%.

Підвищеної небезпеки ураження електричним струмом не має, тому що в ньому відсутні умови, які створюють підвищену або особливу небезпеку: вологість, хімічно агресивні речовини, струмопровідна підлога, температура без кондиціонера не перевищує 32 градуси. Обладнання яке використовується відноситься до I та II класу за електрозахистом. Кожна група споживачів живиться від окремого автоматичного вимикача.

5.5 Електромагнітне випромінювання

ГОСТ 12.1.006-84 Обмежує експозицію напруженості поля на рівні

$$EH = 2 \frac{\text{Вт. год.}}{\text{м}^2}$$

5.6 Пожежна безпека

Проаналізуємо можливі причини виникнення пожежі та речовини, що можуть горіти. Ймовірними чинниками виникнення пожежі можуть бути:

- несправність в електроустаткуванні (пробій ізоляції, несправності, що виникли внаслідок механічних ушкоджень то що;

- порушення протипожежного режиму (паління в недозволених місцях, користування побутовими електронагрівальними приладами то що.

Речовинами які можуть горіти є:

- меблі;
- конструктивні елементи приміщення – паркет, двері (дерево, оббивка, утеплювач, ущільнювач), віконні рами (дерево, пластик);
- обладнання, кабелі, радіодеталі.

По вибухопожежонебезпеці, ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою, приміщення лабораторії відносяться до категорії В, тому що в ній знаходяться горючі і тяжкогорючі рідини, речовини і матеріали. По пожежонебезпеці робоча зона згідно НПАОП 40.1-1.32-01 відноситься до класу П-Па – приміщення, в яких можливе утворення лише локальних вибухонебезпечних сумішей при аварійних ситуаціях.

Для того, щоб уникнути виникнення пожежі, у лабораторії прийняті наступні заходи:

- 1.Обезточування обладнання кімнати окремим автоматом з вільним доступом;
2. Згідно ДСТУ 3675-98 та ISO 3941:2007 на 100 м² треба розмістити 1-2 вогнегасники, в приміщенні наявні чотири вуглекислотних вогнегасників об'ємом 5л;
3. Розміри дверних прорізів відповідають усім вимогам СНиП 2.09.02-85 та ДБН В.1.1-7:2016;
4. Поруч з лабораторією вивішена план-схема евакуації на випадок пожежі.
5. Робітники проходять вступний і безпосередній на робочому місці інструктаж.

5.7 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Плани локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій розробляються згідно НПАОП 0.00-4.33-99.

Системи сповіщення про надзвичайний стан повинні відповідати ДБН В.2.5-56-2014 "Інженерне обладнання будинків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд".

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті виконаної роботи були виконано аналіз та класифікації доступних для побутових цілей БПЛА та бортове та наземне обладнання для керування ними. Проаналізовані характеристики каналів зв'язку біспілотних літальних апаратів вартістю до однієї тисячі доларів. Розглянуті відомі методи пеленгації та проаналізовано складність їх реалізації, розглянуто декілька варіантів схем їх побудови. З основу обрано амплітудний метод пеленгації. Основну увагу у роботі приділено розробці та реалізації антенної системи пеленгатора на основі 8-ми логіперіодичних антен, що дозволяють моніторити діапазон частот до 6 ГГц. Також розроблено та реалізовано блок комутації сигналів з антен з їх підсилення з великим перекриттям. Розглянуто питання охорони праці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Zipline's Ambitious Medical Drone Delivery in Africa [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.technologyreview.com/2017/06/08/151339/blood-from-the-sky-ziplines-ambitious-medical-drone-delivery-in-africa/>
2. Drones will deliver defibrillators to 911 callers to help treat cardiac arrest [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.cnbc.com/2017/10/10/watch-flirtey-and-remsa-deliver-defibrillators-by-drone-to-911-callers.html>
3. В Киеве дрон пытался доставить в СИЗО наркотики [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://korrespondent.net/city/kyev/4119072-v-kyeve-dron-pytalsia-dostavyt-v-syzo-narkotyky>
4. Дроны и тюрьмы: новейшая история доставки заключённым Raspberry Pi, дрожжей, наркотиков и игральные карты [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://habr.com/ru/post/366935/>
5. Мак Р. Война дронов: как Фрэнк Ван создал новый рынок и стал миллиардером [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.forbes.ru/tekhnologii/mekhanizmy-i-gadzhety/288877-voina-dronov-kak-frenk-veng-sozdal-novyi-rynok-i-stal-milli>
6. Джейн Уэйкфилд Маленький дрон стал причиной большого хаоса в Гатвике. Почему? [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.bbc.com/russian/features-46633734>
7. UAS Sightings Report [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.faa.gov/uas/resources/public_records/uas_sightings_report/
8. What Happens When a Drone Hits an Airplane Wing? – AINtv [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.youtube.com/watch?time_continue=1&v=QH0V7kp-xg0

9. Rohde & Schwarz R&S®DDF1555 Compact Direction Finder
10. Rohde & Schwarz R&S®ADDx Single-Channel DF Antennas
11. NSTS 0619-E0328E / SignalShark 3310 Datasheet
12. NSTS 0218-E0335A / Narda DF Antennas Preliminary Datasheet
13. Скольник М. - Справочник по радиолокации. т. Советское радио
14. Сайбель А.Г. - Основы радиолокации-Советское радио (1961)
15. RDF products, A Comparison of the Watson–Watt and Pseudo-Doppler DF Techniques, White paper WN-004, Rev. B-01, April 1999.
16. R. Hammerle, Factors limiting the accuracy of Doppler and Adcock direction finding systems, IEE Passive Direction Finding 3 (3) (1989) 1–13.
17. R.O. Schmidt, Multiple emitter location and signal parameter estimation, IEEE Transactions on Antennas and Propagation AP-34 (3) (1986) 276–280.
18. R. Roy, T. Kailath, ESPRIT, estimation of signal parameters via rotational invariance techniques, IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing 37 (7) (1989) 984–995.
19. Daniel N. Aloï, Mohammad S. Sharawi Comparative analysis of single-channel direction finding algorithms for automotive applications at 2400 MHz in a complex reflecting environment.
20. Direction Finders Introduction into Theory of Direction Finding Rohde & Schwarz Radiomonitoring & Radiolocation 2011/2012